

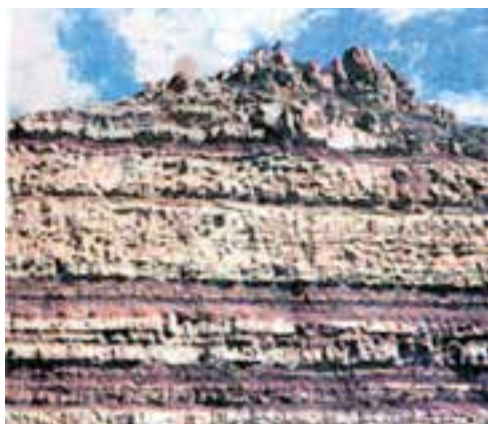
## سنگ‌های رسوبی

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

- ۱- کلیات سنگ‌های رسوبی را توضیح دهد.
- ۲- ویژگی‌های مهم سنگ‌های رسوبی را برشمارد.
- ۳- اهمیت سنگ‌های رسوبی را به منزله‌ی منابع مهم توضیح دهد.
- ۴- ساخت موجود در سنگ‌های رسوبی (افقی بودن لایه‌ها، لایه‌بندی متقاطع، ریپل مارک و ترک‌های گلی) را توضیح دهد.
- ۵- بافت‌های موجود در سنگ‌های رسوبی (بافت آواری، بافت بلورین و بافت اسکلتی) را تشریح نماید.
- ۶- سنگ‌های رسوبی را به سنگ‌های «رسوبی آواری»، «رسوبی شیمیایی غیرآلی» و «رسوبی شیمیایی آلی» طبقه‌بندی کند.
- ۷- انواع سنگ‌های رسوبی آواری (شیل، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومرا) را توضیح دهد.
- ۸- انواع سنگ‌های رسوبی شیمیایی غیرآلی (آهک، هالیت، ژیس، دولومیت و چرت) را نام ببرد.
- ۹- سنگ‌های آهکی بیوشیمیایی (گل سفید، چرت آلی و زغال‌سنگ) را توضیح دهد.



## سنگ‌های رسوبی



شکل ۱-۱۱

### آشنایی

که از نظر مصارف صنعتی، کشاورزی و آب آشامیدنی اهمیت فراوان دارد.

فرایند هوازدگی مواد خام سنگ‌های رسوبی را فراهم می‌کند. رودخانه‌ها ذرات هوازده را به حوضه‌های رسوبی مانند دریاها، دریاچه‌ها، دره‌های رودخانه‌ای و دیگر حوضه‌ها به صورت لایه لایه 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.

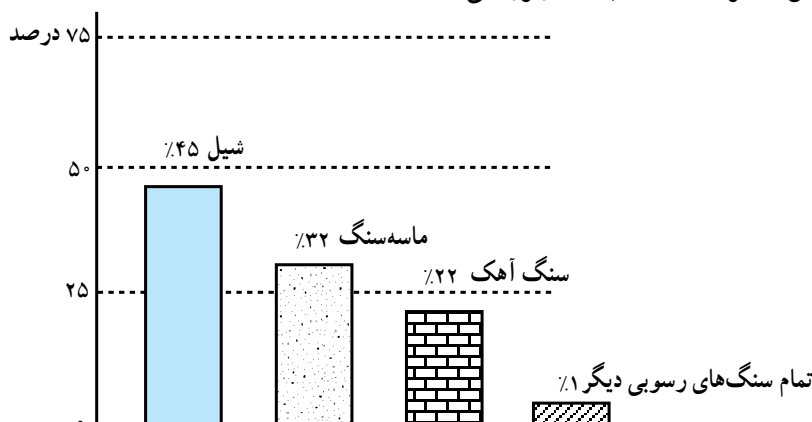
### ساخت‌های موجود در لایه‌های رسوبی

در حوضه‌های رسوبی، رسوبات به صورت لایه لایه و افقی روی هم ته‌نشین می‌شوند. پس از سخت شدن لایه‌ها، سنگ‌های رسوبی به وجود می‌آید.

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

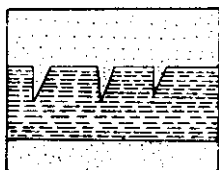
لایه یا طبقه، جسم ورقه‌مانندی است که طول و عرض آن در مقایسه با ضخامت لایه، زیاد است. ضخامت هر لایه ممکن است از یک سانتی‌متر کم‌تر تا چندین متر تغییر کند و به وسیله‌ی سطحی به نام «سطح لایه‌بندی» از لایه‌ی مجاور جدا شود. هر لایه، از طبقات رومی و زیرین خود به وسیله‌ی تغییرات سنگ‌شناسی، رنگ و اندازه‌ی دانه‌ها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

گروهی از سنگ‌های رسوبی منبع مهمی از آهن، آلومینیوم، منگنز، کود و مواد لازم دیگر برای صنعت به‌شمار می‌آیند. سنگ‌های رسوبی محل ذخیره و انتقال آب‌های زیرزمینی است



شکل ۲-۱۱- نسبت فراوانی سنگ‌های رسوبی در روی زمین

شده ترک‌هایی در آن‌ها ایجاد می‌شود. ترک‌های گلی در محیط‌های کم‌عمق مانند دریاچه‌ها، بستر رودخانه‌ها و نظایر آن تشکیل می‌شوند.



۵-۱۱- ترک‌های گلی

### بافت سنگ‌های رسوبی

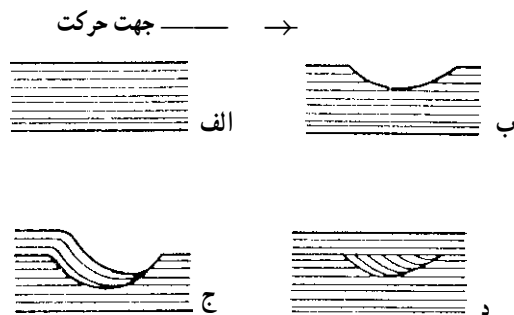
بافت به اندازه‌ی ذرات تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌ها گفته می‌شود. «بافت‌های آواری» یا تخریبی (کانی‌ها و خرده‌سنگ‌ها)، و «بافت غیرآواری»، دو نوع بافت اصلی در سنگ‌های رسوبی به‌شمار می‌آیند.

۱- **بافت آواری:** اندازه‌ی ذرات در سنگ‌های رسوبی متفاوت بوده دارای بافت دانه درشت بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر، دانه متوسط ۲ تا  $\frac{1}{16}$  میلی‌متر و دانه‌ریز کم‌تر از  $\frac{1}{16}$  میلی‌متر است. مواد تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌های رسوبی شامل دو دسته‌ی «دانه‌آ» و «سیمان<sup>۵</sup>» است. میزان سیمان‌شدگی از ویژگی‌های مهم سنگ‌های رسوبی آواری به‌شمار می‌آید. سیمان اصلی این‌گونه بافت‌ها، آهک، سیلیس، اکسیدهای آهن و رس است.

۲- **بافت بلورین (غیر آواری):** کانی‌های تشکیل‌دهنده در آب‌ها به‌صورت محلول درمی‌آیند؛ سپس بر اثر تبخیر یا واکنش‌های شیمیایی در دریاچه‌ها و دریاها ته‌نشست حاصل کرده، بافت بلورین را تشکیل می‌دهند. این بافت از نظر اندازه شامل سه دسته‌اند. «بافت درشت بلور بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر»، «بافت متوسط بلور ۲ تا  $\frac{1}{16}$  میلی‌متر» و «بافت ریزبلور کم‌تر از  $\frac{1}{16}$  میلی‌متر».

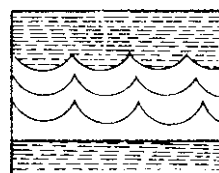
**بافت اسکلتی:** بافت اسکلتی عبارت است از تجمع پوسته‌ی بی‌مهرگان دریایی که بعد از مرگ آنان در بستر دریا ته‌نشین می‌شود. این بافت شبیه بافت آواری است.

**لایه‌بندی متقاطع<sup>۱</sup>:** این لایه‌بندی ساختی است که در نتیجه‌ی 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 ۳-۱۱- لایه‌بندی متقاطع - طرز تشکیل لایه‌بندی متقاطع:  
الف - لایه‌های اولیه، ب - ایجاد فرورفتگی به وسیله‌ی جریان‌های شدید، ج - ته‌نشین شدن لایه‌ها در مسیر شیب‌دار، د - ته‌نشین شدن لایه‌های اولیه بعد از بردن فرورفتگی

**ریپل مارک یا موج‌نشان<sup>۲</sup>:** ریپل مارک سطح موج‌دار یا چین و شکن‌هایی است که به وسیله‌ی 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 ۴-۱۱- ریپل مارک

**ترک‌های گلی<sup>۳</sup>:** وقتی ترک‌های گلی در رسوباتی پیدا شوند، نشان‌دهنده‌ی آن است که آن‌ها به‌طور متناوب تر و خشک می‌شده‌اند. گل‌های تر وقتی در معرض هوا قرار گیرند خشک



۱۱-۶- بافت اسکلتی

### انواع سنگ‌های رسوبی

سنگ‌های رسوبی هستند که از سیمان شدگی خرده‌سنگ‌های حاصل از سنگ‌های قبلی به وجود 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.

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

جدول ۱-۱۱- 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 یا برش
۶۴ تا ۲۵۶	قلوه‌سنگ			
۴-۶۴	ریگ			
۴ تا ۴	شن			
$\frac{1}{16}$ - ۲	ماسه	دانه متوسط	ماسه	ماسه‌سنگ
$\frac{1}{16}$ تا $\frac{1}{256}$	سیلت	دانه ریز	گل	سیلت سنگ گل سنگ شیل
کوچک‌تر از > $\frac{1}{256}$	سیلت + رس رس			

**شیل<sup>۱</sup>:** شیل سنگ رسوبی است و از ذراتی به اندازه 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.

**ماسه سنگ<sup>۲</sup>:** به سنگی که اندازه‌ی دانه‌های آن به اندازه‌ی ماسه باشد، «ماسه سنگ» می‌گویند. ماسه سنگ‌ها بعد از شیل فراوان‌ترین سنگ‌های رسوبی به‌شمار می‌آیند. دانه‌های ماسه سنگ‌ها به وسیله‌ی سیمانی از جنس سیلیس یا کربنات به هم چسبیده‌اند. ماسه سنگ کوارتزی<sup>۳</sup>، بیش از ۹۰٪ کوارتز و اندکی سیمان دارد.



الف ب

شکل ۹-۱۱-الف - ماسه سنگ کوارتزی، ب - آرکوز

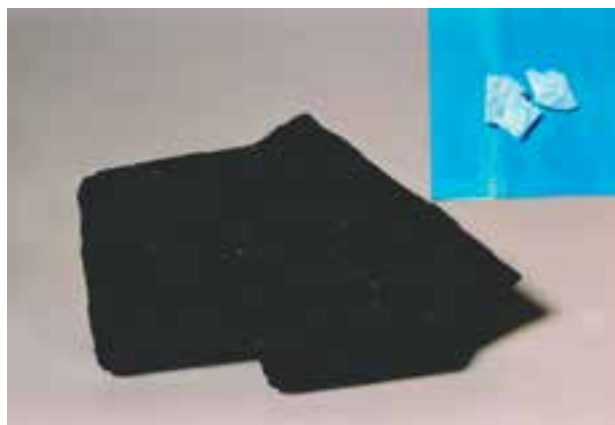
**کنگلو مراً<sup>۴</sup>:** کنگلو مراها از سیمان‌شدگی ذرات درشت رسوبی بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر - با گردشگی خوب و ماده‌ی زمینه‌ای از سیلیس و رس - تشکیل شده‌اند. دانه‌ها ممکن است از هر جنس باشند، اما کوارتز از کانی‌های مقاوم در کنگلو مراها به حساب می‌آید (شکل ۱۰-۱۱).



شکل ۱۰-۱۱- کنگلو مراً

قطعات گرد شده بزرگ

**شیل<sup>۱</sup>:** شیل سنگ رسوبی است و از ذراتی به اندازه 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 ۷-۱۱- شیل (در بالا سمت راست، تصویر تورق شیل را نشان می‌دهد).

شیل‌های سیاه دارای مقدار زیادی مواد آلی هستند. شیل‌های قرمز اکسید آهن دارند. از انواع دیگر سنگ‌های رسوبی تخریبی دانه‌ریز، «سیلتستون» است که از ذرات سیلت که درشت‌تر از ذرات رس است تشکیل شده است.



شکل ۸-۱۱- سیلتستون

رسوب دانه‌ریز



شکل ۱۱-۱۲- تراورتن

**سنگ‌های تبخیری:** گروهی از سنگ‌های رسوبی، حاصل تبخیر آب مناطق کم عمق و گرم هستند و در محیط‌هایی مانند دریاچه‌ها که مقدار تبخیر بیش‌تر از مقدار آب‌های ورودی است پدید می‌آیند؛ مانند هالیت و ژپس. «هالیت» سازنده اصلی سنگ نمک<sup>۱</sup> و «ژپس» سازنده اصلی سنگ گچ<sup>۲</sup> که هر دو 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 (ژپس):** این سنگ اغلب به رنگ سفید دیده می‌شود و در صورت داشتن اکسید آهن 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»<sup>۳</sup> گویند که سختی آن بیش‌تر از سختی سنگ گچ آب‌دار است و با ناخن خراش بر نمی‌دارد. **دولومیت:** دولومیت بسیار شبیه به سنگ آهک است و

**برش<sup>۱</sup>:** 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.



۱۱-۱۱- برش

**سنگ‌های رسوبی شیمیایی غیر آلی:** این رسوبات از موادی پدید آمده‌اند که به صورت محلول به دریاچه‌ها و دریاها وارد شده‌اند. مواد همیشه به حالت محلول باقی نمی‌مانند، بلکه قسمتی از آن به صورت ذراتی رسوب نموده روی هم انباشته می‌شوند و رسوبات شیمیایی را به وجود می‌آورند. مواد محلول در آب بر اثر تغییر یا تغییرات شدید دما رسوب می‌کنند.

**سنگ‌های آهکی:** سنگ آهک از کانی کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ ) تشکیل شده که در نتیجه‌ی فرایندهای شیمیایی به وجود می‌آید. میزان رسوب آهک در حوضه‌های رسوبی به میزان  $\text{CO}_2$  بستگی دارد. آهک در آب‌های گرم، به علت خروج  $\text{CO}_2$  زودتر رسوب می‌کند.

«تراورتن» نوعی سنگ آهک است که در دهانه‌ی چشمه‌ها با خارج شدن گاز  $\text{CO}_2$  از آب، تشکیل می‌شود. سنگ آهک پرحفره‌ی تراورتن و ستون‌های آهکی درون غارها به همین شکل به وجود آمده‌اند.

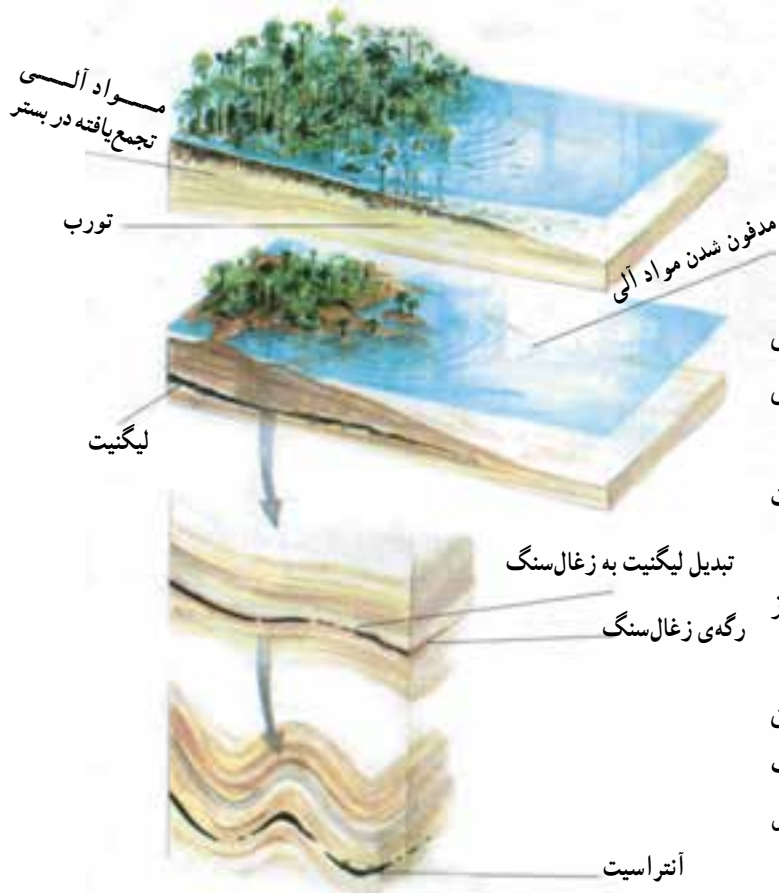
۱ - Breccias

۲ - Rock Salt

۳ - Rock gypsum

۴ - Anhydrite

وضعیت خاصی فراهم شود، مهم ترین محیط مناسب برای حفظ مواد گیاهی محیط باتلاقی است. این محیط فاقد اکسیژن است و تجزیه ی کامل مواد گیاهی در آن انجام نمی شود. مواد گیاهی تحت تأثیر عمل باکتری ها قرار می گیرند و مواد آلی آنها تا اندازه ای تجزیه شده، اکسیژن و هیدروژن آزاد می شود. با خروج این عناصر، درصد کربن به تدریج افزایش می یابد. تجزیه ی ناقص مواد گیاهی در محیط باتلاقی، ایجاد لایه ای از «تورب» می شود که ماده ای نرم و قهوه ای است با افزایش تدریجی فشار و گرما مواد فشرده تر و سخت تر حاصل می شود. این مواد به ترتیب درجه ی خلوص لیگنیت، زغال سنگ و آنتراسیت هستند.



شکل ۱۴-۱۱- تشکیل زغال سنگ از رسوبات مردابی

از کانی دولومیت یعنی کربنات کلسیم و کربنات منیزیم ساخته شده است. دولومیت ها هنگامی تشکیل می شوند که منیزیم جانشین کربنات کلسیم سنگ آهک شود.

**چرت (Chert):** چرت به سنگ های متراکم سختی اطلاق می شود که از سیلیس بسیار ریز ساخته شده اند. نوع شیمیایی آن محصول رسوب کردن سیلیس در آب های است که از این ماده اشباع گشته اند (شکل ۱۳-۱۱).

بافت ریز دانه



شکل ۱۳-۱۱- چرت

**سنگ های رسوبی شیمیایی آلی:** مهم ترین سنگ های این گروه عبارت است از سنگ آهک آلی و چرت که از بقایای اسکلت جانوران و گیاهان دریازی حاصل شده اند. **گل سفید:** گل سفید سنگی است که از پوسته ی موجودات ریز میکروسکوپی تشکیل شده است.

**چرت آلی:** نوعی سنگ رسوبی شیمیایی آلی است که از سیلیس باقی مانده ی جانداران دریایی تشکیل می شود.

**زغال سنگ:** با بررسی دقیق یک تکه زغال سنگ با ذره بین مشخص می شود که ساختمان های گیاهی، مانند برگ ها، پوست درخت و چوب در آن وجود دارد؛ بنابراین، زغال سنگ محصول نهایی دفن مواد گیاهی در دوره های طولانی است.

مرحله ی اصلی تشکیل زغال سنگ، تجمع و انباشتگی بقایای گیاهی به مقدار زیاد است. با وجود این، برای تجمع باید

## خودآزمایی

- ۱- دو ویژگی مهم سنگ‌های رسوبی را توضیح دهید.
- ۲- هر لایه با کدام ویژگی از لایه‌های دیگر جدا می‌شود؟
- ۳- لایه‌بندی متقاطع، ریب‌مارک و ترک‌های گلی را با مثال توضیح دهید.
- ۴- اندازه‌ی ذرات در بافت آواری را با اندازه‌ی بلورهای سنگ‌های رسوبی شیمیایی مقایسه کنید.
- ۵- علت تورق در سنگ شیل چیست؟
- ۶- «کنگلو مرا» و «برش» را از نظر شکل ذرات و اندازه‌ی ذرات تشکیل دهنده، گردش‌گی و مسافت طی شده مقایسه کنید.

۷- هر یک از این توضیحات مربوط به چه سنگی است؟

- ۱- سنگ رسوبی آواری دانه ریز.
- ۲- سنگ متبلور که با ناخن خراش برمی‌دارد.
- ۳- نوعی سنگ رسوبی دارای بقایای گیاهی فراوان.
- ۴- سنگی که با اسید می‌جوشد.



## سنگ‌های دگرگونی

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

- ۱- فرایند دگرگونی را توضیح دهد.
- ۲- عوامل مؤثر در دگرگونی را بیان نماید.
- ۳- دگرگونی مجاورتی را شرح دهد.
- ۴- دگرگونی عمومی را توضیح دهد.
- ۵- انواع بافت سنگ‌های دگرگونی را برشمارد.
- ۶- اقسام سنگ‌های دگرگونی را طبقه‌بندی کند.
- ۷- اقسام سنگ‌های دگرگونی دارای جهت‌یافتگی و فاقد جهت‌یافتگی را توصیف کند.



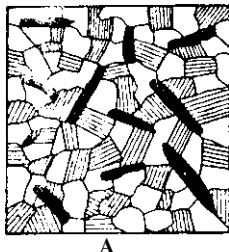
## سنگ‌های دگرگونی<sup>۱</sup>



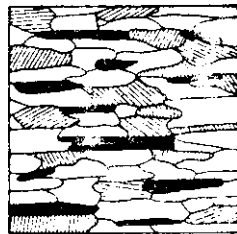
۱-۱۲- دگرگونی

قرار گیرند، دگرگون می‌شوند. 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 زمین‌گرایی<sup>۲</sup> 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.



A



B

۲-۱۲- در قسمت A بلورها هیچ‌گونه جهت‌یافتگی ندارند، اما در قسمت B بلورها بر اثر دگرگونی کشیده و جهت‌دار شده‌اند.

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 هر دو عامل قرار می‌گیرند، اما 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

۱ - Metamorphic rocks

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

## انواع دگرگونی

ماگما قرار می گیرند و دگرگون می شوند. مقدار تغییر به دمای ماگما و طول زمانی که با سنگ های اطراف در تماس است بستگی دارد. هنگام دگرگونی مجاورتی، منطقه ی تغییر شکل یافته ای به نام «هاله<sup>۱</sup>ی دگرگونی» در اطراف توده ی ماگمایی تشکیل می شود.

دگرگونی در وضعیت های مختلف صورت می گیرد.  
دگرگونی مجاورتی<sup>۱</sup>: این نوع دگرگونی بر اثر نفوذ ماگما در سنگ های تشکیل دهنده ی پوسته ی زمین پدید می آید. سنگ های درون گیر به ترتیب فاصله تحت تأثیر اعمال مختلف



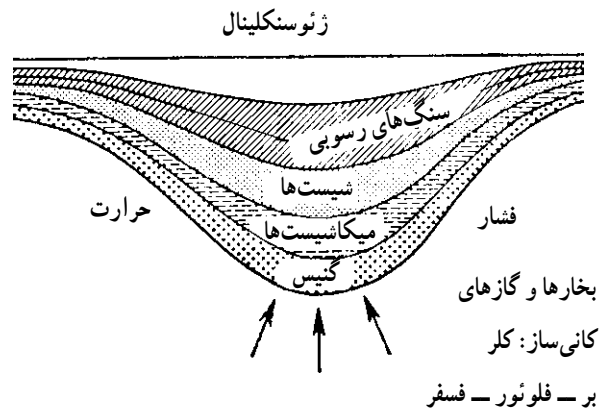
شکل ۳-۱۲- دگرگونی مجاورتی

- ۱- هورنفلس
- ۲- میکاشیست
- ۳- شیست
- ۴- سنگ های رسی

فشار، بافت های متنوعی را در سنگ های دگرگونی ایجاد می کند. اندازه ی دانه ها: فشار زیاد باعث تبلور دوباره ی دانه های کانی موجود در سنگ می شود. آب نیز در این فرایند موجب رشد کانی ها می گردد.

شکل دانه ها: بعضی از کانی ها مانند میکا، با ساختمان ورقه ای، هورنبلاند با بلورهای طویل و سوزنی و کوارتز و فلدسپات در سنگ، با جهت یافتگی مشخصی متبلور می شوند. نحوه ی جهت یافتگی کانی ها به صورتی است که به سنگ منظره ی لایه ای یا نواری می دهد اگر تنها با رشد کانی های ورقه ای، سنگ به شکل ورقه ورقه یا به صورت فلس باشد، به آن «شیستوزیته»<sup>۴</sup> می گویند و سنگ دارای چنین نامی را «شیست»<sup>۵</sup> می نامند.

دگرگونی ناحیه ای<sup>۲</sup>: در صورتی که سنگ ها در وسعت زیاد، تحت تأثیر حرارت و فشار قرار گیرند و تغییر شکل یابند، دگرگونی ناحیه ای به وجود می آید. مناطق مهم دگرگونی در قاره ها از نوع دگرگونی ناحیه ای هستند.



شکل ۴-۱۲- دگرگونی ناحیه ای

## انواع سنگ های دگرگونی

سنگ های دگرگونی را به دو گروه عمده طبقه بندی

می کنند:

۱- انواعی که دارای جهت یافتگی هستند؛ از این گروه «سنگ لوح»، «شیست ها» و «گنیس» را می توان نام برد.

سنگ لوح<sup>۶</sup>: این دسته از سنگ ها از دگرگونی خفیف سنگ های رسی (شیل) به وجود می آید. در این سنگ نوعی تورق ساده و خوب وجود دارد که باعث می شود سنگ به شکل صفحات

درجه ی دگرگونی در بافت و ترکیب کانی شناسی سنگ های دگرگونی نمایان می شود. نحوه ی رشد و استقرار کانی ها بر اثر

## بافت

۱ - Contact metamorphism

۲ - Schistosity

۳ - Aureole

۴ - Schist

۵ - Regional metamorphism

۶ - Slate

تقریباً صاف و منظم شکسته شود. رنگ سنگ لوح خاکستری یا سیاه است و بر حسب وجود کانی‌های مختلف، به رنگ‌های متنوعی مانند قرمز و سبز درمی‌آید. «فیلیت»<sup>۱</sup> نوعی سنگ لوح است که به علت فراوانی میکا، ظاهری براق پیدا می‌کند.

رد کربن و پیریت



رنگ سبز در سطح

شکل ۵-۱۲- سنگ لوح

رنگ سبز روشن



سطح براق ناشی از میکا و کلریت

شکل ۶-۱۲- فیلیت

شیست‌های دگرگونی<sup>۲</sup>: این سنگ‌ها دارای کانی‌های ورقه‌ای یا سوزنی و کانی‌های فرعی مانند «گرونا» هستند و از دگرگونی شیل‌ها به وجود می‌آیند، درجه‌ی دگرگونی این سنگ‌ها شدیدتر از سنگ لوح است. شیست‌ها را بر اساس ترکیب کانی‌شناسی نام‌گذاری

می‌کنند.

میکاشیست‌ها<sup>۳</sup>: عمدتاً از مسکویت (میکای سفید) و میکای سیاه، ترکیب یافته‌اند و دارای مقدار کمی کوارتز و فلدسپات هستند.



میکای نقره‌ای در فولیاسیون

شکل ۷-۱۲- مسکویت شیست

گارنت شیست<sup>۴</sup>: کانی اصلی این سنگ‌ها گرونا است.



شکل ۸-۱۲- دانه‌های گرونا در سنگ نمایان است.

آمفیبولیت شیست<sup>۵</sup>: سنگ‌های دگرگونی با بلورهای سوزنی هورنبلاند تشکیل شده است.

۱ - Phillite

۲ - Metamorphic Schists

۳ - Micaschists

۴ - Garnet Schist

۵ - Amphibolite Schist

گنیس<sup>۱</sup>: بیشتر کانی‌های این سنگ به جای ورقه‌ای از نوع دانه‌ای است.

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

۲- سنگ‌های دگرگونی که فاقد جهت یافتگی هستند: مرمر، کوارتزیت و هورنفلس از انواع این سنگ‌ها به‌شمار می‌آیند.

«مرمر خالص» سفید است و فقط از کانی کلسیت تشکیل یافته است. سنگ‌های آهکی تشکیل دهنده‌ی مرمر ممکن است با داشتن ناخالصی‌ها رنگ‌های متنوع در مرمر ایجاد کند. کوارتزیت: ماسه‌ی سنگی دگرگون شده از جنس کوارتز، فاصله‌ی تمام ذرات آن را خمیری متبلور شده از جنس کوارتز، پر کرده است.



شکل ۹-۱۲- گنیس

مرمر<sup>۲</sup>: سنگ‌های آهکی هنگامی که تحت تأثیر حرارت و فشار قرار می‌گیرند سنگی به وجود می‌آید که به آن «مرمر» گویند.



شکل ۱۰-۱۲- مرمر آبی



شکل ۱۱-۱۲- کوارتزیت

هورنفلس<sup>۳</sup>: 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 - فاقد هر نوع جهت یافتگی - به وجود می‌آید.



شکل ۱۲-۱۲- هورنفلس گرونادار

۱ - Gneiss

۲ - Marble

۳ - Hornfels

## خودآزمایی

- ۱- فرایند دگرگونی را تعریف کنید.
- ۲- عوامل مؤثر در دگرگونی را نام ببرید.
- ۳- انواع بافت سنگ‌های دگرگونی را توضیح دهید.
- ۴- دگرگونی مجاورتی و دگرگونی ناحیه‌ای را از نظر موقعیت منبع حرارتی مقایسه کنید.
- ۵- سنگ گرانیت و گنیس را از نظر ترکیب کانی‌شناسی و تفاوت ظاهری مقایسه کنید.
- ۶- 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:

- ۱- درباره‌ی فرایندهای تغییردهنده‌ی سطح کره‌ی زمین توضیح دهد.
- ۲- فرسایش را شرح دهد.
- ۳- هوازدگی و انواع آن، شامل هوازدگی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را تشریح کند.
- ۴- پایداری سنگ‌ها و کانی‌ها در برابر هوازدگی را شرح دهد.
- ۵- حمل و نقل مواد هوازده و عوامل مؤثر در آن را بیان کند.
- ۶- تغییر شکل فرسایشی پوسته‌ی جامد زمین را شرح دهد.
- ۷- عمل فرسایشی آب‌های جاری را شرح دهد.
- ۸- عمل فرسایشی باد را بیان کند.
- ۹- عمل فرسایش دریاها و اقیانوس‌ها را شرح دهد.
- ۱۰- عمل فرسایش یخچال‌ها را شرح دهد.



## فرایندهای تغییردهنده‌ی سطح کره‌ی زمین

### مقدمه

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 «هوازگی»<sup>۱</sup> و «حمل و نقل مواد تخریب شده»<sup>۲</sup>. در فرایند هوازگی با پدیده‌هایی آشنا می‌شویم که بر اثر 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<sup>۳</sup> فراهم می‌آورد.

### هوازگی

هوازگی 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 هوازگی 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 در طول زمان رخ می‌دهد و آن را با یک ساختمان جدید که با همان مصالح ساخته شده متمایز می‌سازد حاصل پدیده‌ی هوازگی است. برحسب این که هوازگی تحت تأثیر کدام دسته از عوامل صورت بگیرد هوازگی را به سه نوع تقسیم می‌کنند. «هوازگی فیزیکی»، «هوازگی شیمیایی» و «هوازگی بیولوژیکی»<sup>۴</sup>.

کره‌ی زمین در طول چهار میلیارد سالی که از عمر آن می‌گذرد همواره دست‌خوش تحولات 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 چه بسا کوه‌های بلند و سربه‌فلک کشیده‌ای، تحت تأثیر هوازگی و فرسایش در طول زمان به تپه‌های کم‌ارتفاع و زمین‌های مسطح تغییر شکل داده‌اند یا دره‌های عمیقی که در گذشته‌های دور وجود نداشته‌اند به مرور زمان در سطح 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 هوازگی 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 بر اثر عملکرد نیروهای خارجی، سنگ‌ها و مواد و قطعات تخریب شده را از محل اولیه به حرکت درآورده پس از جابه‌جا کردن و طی مسافتی معین به مکان دیگری انتقال می‌دهند. با توجه به آن چه گذشت اینک شرح سه پدیده‌ی فرسایش هوازگی و حمل و نقل مواد دربی خواهد آمد.

### فرسایش

به عواملی که موجب تغییراتی در پوسته‌ی زمین و فرسوده

۱ - Weathering

۲ - Transportation

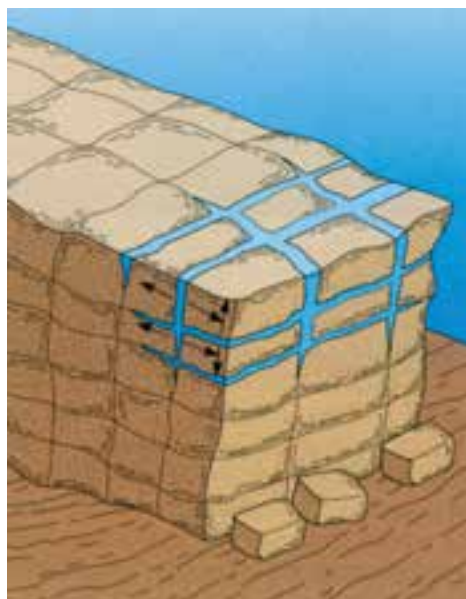
۳ - Sedimentation

۴ - 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 هر یک 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 جمله اند: یخ بستن آب در شکاف سنگ‌ها، تغییرات درجه‌ی حرارت محیط و رشد بلورهای کانی.

**— یخ بستن آب در شکاف صخره‌ها و سنگ‌ها:**  
بر اساس 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<sup>۱</sup>. چنین فشاری ممکن است سخت‌ترین و مقاوم‌ترین سنگ‌ها را درهم بشکند.



شکل ۱-۱۳- تخریب صخره‌ها در اثر انجماد آب در حفره‌ها و شکاف سنگ‌ها

**— تغییرات متناوب درجه‌ی حرارت سنگ‌ها:**  
همان‌گونه که می‌دانید تغییرات دما در اجسام باعث انبساط و انقباض آن‌ها می‌شود. صخره‌ها و کوه‌ها نیز در نتیجه‌ی 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.

**— 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.

**— پوسته پوسته شدن:** هرگاه در اثر فرسایش 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 به عبارتی، لایه‌های نازک متوالی در طول زمان از توده‌ی اصلی جدا می‌شود.



شکل ۲-۱۳- پوسته پوسته شدن سنگ‌ها در نتیجه‌ی هوازدگی فیزیکی

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

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

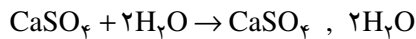
**هواز دگی شیمیایی:** در این نوع هواز دگی، کانی‌های سنگ از نظر شیمیایی تغییر می‌کنند هواز دگی شیمیایی بیش‌تر در مناطقی رخ می‌دهد که دارای آب و حرارت کافی باشند. افزون بر آن، وجود انیدرید کربنیک، اکسیژن و دیگر گازهای موجود در هوا که بر هواز دگی شیمیایی تأثیرگذار هستند. در میان کانی‌های معمولی موجود در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

**انحلال<sup>۱</sup>:** برخی از کانی‌ها به راحتی در آب حل می‌شوند قابلیت انحلال کانی‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است؛ برای مثال، میزان حل شدن نمک طعام در آب ده‌ها برابر کانی‌های کربناته مانند سنگ آهک است. آب خالص به تنهایی در انحلال چندان مؤثر نیست، اما هنگامی که گازهایی مانند دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد و گازهای ناشی از مناطق صنعتی، در آب باران حل می‌شود اسیدهایی را تشکیل می‌دهند که خوردگی بیش‌تری دارند و مواد و کانی‌های بیش‌تری را در خود به صورت شیمیایی حل می‌کنند.



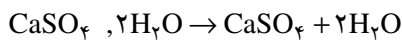
شکل ۳-۱۳- انحلال صخره‌ها به وسیله باد باران

**هیدراته شدن<sup>۲</sup>:** 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:



ژیپس                      انهیدریت

**دهیدراتاسیون<sup>۳</sup>:** دهیدراتاسیون عکس عمل هیدراته شدن است؛ به این ترتیب که تغییر شیمیایی با خروج مولکول‌های آب از کانی‌های خاصی صورت می‌گیرد:



انهیدریت                      ژپس

**هیدرولیز<sup>۴</sup>:** عمل هیدرولیز عبارت از واکنش شیمیایی بین یک کانی و آب است، به دیگر سخن، واکنش شیمیایی بین یون‌های کانی و یون‌های  $\text{H}^+$  و  $\text{OH}^-$  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 به نوعی خاک رس خالص به نام «کائولن» یا خاک چینی تبدیل می‌شود.<sup>۵</sup> البته نقش آب را در این فعل و انفعال نباید از نظر دور داشت.

**اکسیداسیون<sup>۶</sup>:** 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 حاره و گرم و مرطوب بیش‌تر دیده می‌شود در معادن سنگ آهن، هواز دگی شیمیایی اکسیداسیون تا اعماق نسبتاً زیادی صورت می‌گیرد و قشری از اکسیداسیون به صورت نوعی پوشش روی تمام ماده‌ی معدنی را می‌پوشاند که به اصطلاح به این پوشش «کلاهِک آهنی»<sup>۶</sup> می‌گویند.

۱ - Solution

۲ - Hydratation

۳ - Dehydration

۴ - Hydrolysis

فلدسپات پتاسیم‌دار

یون پتاسیم

۵ -  $\text{KAISi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{K}^+ + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{SiO}_2$

آب یون هیدروژن

کائولن

سیلیس

۶ - Iron hat

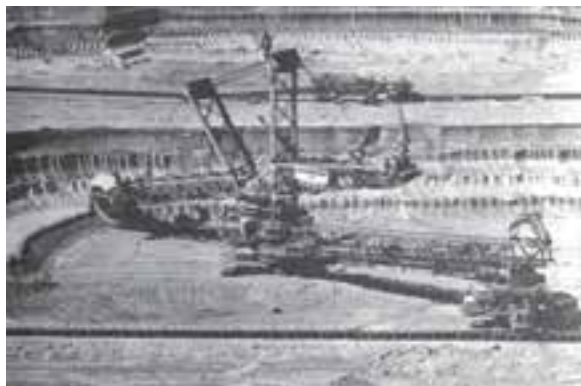
تبدیل کانی پیریت (سولفور طبیعی آهن) به هماتیت (اکسید آهن  $Fe_2O_3$ ) تحت تأثیر پدیده اکسیداسیون است.<sup>۱</sup>

**کربناته شدن<sup>۲</sup>:** کربناته شدن از مراحل مهم هوازدگی شیمیایی است که به موجب آن انیدرید کربنیک موجود در هوا و آب باران با یکدیگر ترکیب شده تشکیل اسید کربنیک<sup>۳</sup> می دهند سنگ های آهکی در نتیجه ی تماس با اسید کربنیک با آن، فعل و انفعال شیمیایی انجام می دهد<sup>۴</sup> و سبب حل کردن کامل آن می شود. حفره های موجود در سنگ های آهکی و غارهای آهکی زیرزمینی به این ترتیب شکل می گیرند.



شکل ۴-۱۳- حفره های انحلالی در سنگ آهک

**هوازدگی بیولوژیکی (زیستی):** موجودات زنده نیز در فرایند هوازدگی و ایجاد تغییرات در سطح کره ی زمین مؤثرند و به دو طریق فیزیکی و شیمیایی در تخریب سنگ ها و پوسته ی زمین وارد عمل می شوند:



شکل ۵-۱۳- نقش انسان در ایجاد تغییرات در پوسته ی زمین

**روش فیزیکی:** انسان با انجام فعالیت هایی مانند راه سازی، سدسازی، احداث ساختمان ها، مسطح کردن اراضی و تخریب جنگل ها، خاک برداری و خاک ریزی، استخراج معادن روباز و زیرزمینی، به گونه ی فیزیکی و مکانیکی تغییرات فراوانی در پوسته ایجاد می کند. جانوران نیز با حفر سوراخ ها و دهلیزهای زیرزمینی و زیرورو کردن خاک ها در تخریب سنگ ها و خاک ها مؤثر واقع می شوند. از سوی دیگر گیاهان نیز با فشار ناشی از رشد و نمو ریشه های خود که نیروی زیادی به سنگ های اطراف وارد می کنند، باعث تخریب فیزیکی سنگ ها و کانی ها می شوند.

**روش شیمیایی:** گیاهان و جانوران در هوازدگی شیمیایی به این ترتیب تأثیر می گذارند که گیاهان در حال فساد اسیدهایی تولید می کنند که می توانند سنگ ها را تخریب کنند. هرچه گیاهان بیش تری در منطقه وجود داشته باشند هوازدگی شیمیایی تا عمق بیش تری عمل می کند. باکتری ها نیز که از طریق اکسیداسیون و فاسد کردن بقایای گیاهان و جانوران که اسیدهای خورنده ای برای تخریب سنگ ها و کانی ها تولید می کنند در هوازدگی شیمیایی نقش مهمی برعهده دارند. بعضی از باکتری ها انرژی لازم را برای ادامه ی حیات خود، از اکسیداسیون گوگرد، آهن، منگنز و غیره به دست می آورند. اکسیداسیون گوگرد به وسیله ی باکتری ها موجب تشکیل اسیدسولفوریک می شود. این اسید می تواند در هوازدگی بیش تر کانی ها مؤثر واقع شود.

**مطالعه ی پایداری سنگ ها و کانی ها در برابر هوازدگی**

سنگ ها و کانی های مختلف در برابر هوازدگی مقاومت های مختلفی از خود نشان می دهند. اغلب سنگ های آذرین در برابر هوازدگی تخریب می شوند؛ برای مثال، اگر گرانیت ها در معرض هوازدگی شیمیایی قرار گیرند فلدسپات آن ها به کائولن و میکای سیاه آن ها به کانی های رستی تغییر حالت می دهند، اما کوارتز موجود در آن ها تغییری نمی یابد. سنگ بازالت که دارای کانی های فرومنیزین و فلدسپات های کلسیم و سدیم دار است در نتیجه ی هوازدگی شیمیایی به کانی های رستی همراه با اکسیدهای آهن،

۱- براساس رابطه ی:  $2FeS_2 + 4H_2O + \frac{15}{4}O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 4H_2SO_4$

۳-  $H_2CO_3$

۴- طبق رابطه ی:  $CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$  بی کربنات کلسیم

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 در پی عوامل طبیعی گوناگونی انجام می‌شود که آب‌های جاری، باد، نیروی جاذبه‌ی زمین و یخچال‌های طبیعی از عوامل اصلی آن به شمار می‌آیند.

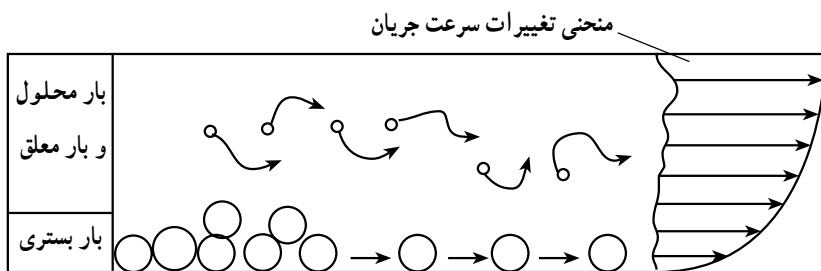
**آب‌های جاری:** آب‌های جاری مهم‌ترین عامل تغییردهنده‌ی خشکی‌های سطح زمین هستند. در ابتدای بارش برف و باران و آغاز جریان یافتن آب، ذرات ریزی مانند رس، سیلت<sup>۲</sup> و خاک‌های نرم به وسیله‌ی آن حمل می‌شوند. به تدریج که آب‌های جاری به هم می‌پیوندند و به صورت جویبار، نهر و کانال‌های طبیعی و رودخانه‌ها درمی‌آیند قدرت حمل مواد در آن‌ها بیش‌تر می‌شود.

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

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

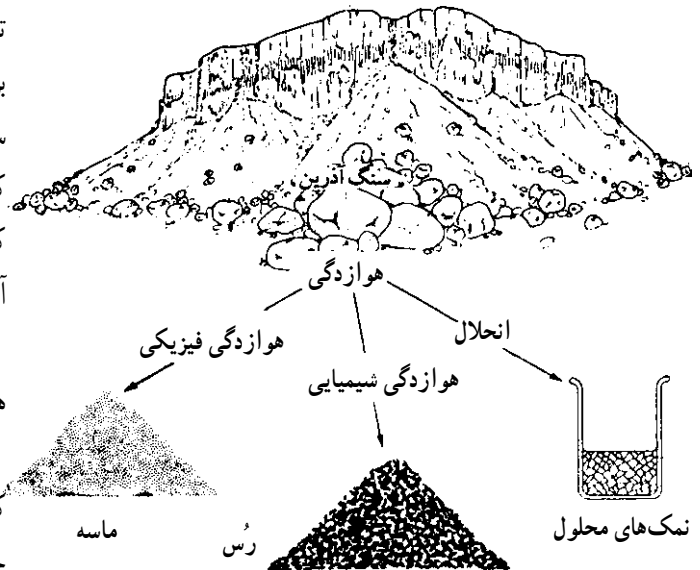
۲- **بار معلق:** شامل ذرات ریز و شناوری است که با آب در جریان است.

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



شکل ۷-۱۳- مقطع طولی رودخانه و وضعیت بارهای محلول معلق و بستری در آن

تبدیل می‌شود. مقاومت ماسه سنگ‌ها در برابر هوازدگی نیز به جنس ماده‌ی سیمانی که ذرات ماسه را به هم چسبانده است. بستگی دارد. هرگاه سیمان از نوع سیلیس باشد ماسه سنگ 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، اکسید آهن و رس نیز مقاومت چندانی در برابر هوازدگی ندارند و به راحتی تخریب می‌شوند. کانی‌های فلدسپات، میکا، هورنبلاند و کلسیت در نتیجه‌ی هوازدگی شیمیایی به ذرات ریزی در حد رس تبدیل می‌شوند.



شکل ۶-۱۳- نتایج حاصل از هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های آذرین

### حمل و نقل مواد هوازده<sup>۱</sup>

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 آن‌ها برحسب کانی‌های با ارزش ذخیره‌ای از یک ماده‌ی معدنی تشکیل می‌گردد. حالت دیگر این است که مواد هوازده بر اثر



شکل ۸-۱۳- ریزش قطعات سنگ بر اثر نیروی جاذبه‌ی زمین

پدیده‌ی دیگری که بر اثر نیروی جاذبه‌ی زمین رخ می‌دهد «لغزش»<sup>۱</sup> 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 به وقوع حوادث زیان‌باری منجر می‌شود. این پدیده «زمین لغزه» نام دارد.

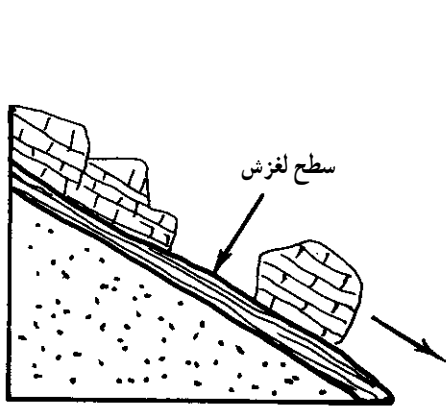
نیروی جاذبه‌ی زمین به گونه‌های دیگری در فرسایش سطح آن مؤثر واقع می‌شود. از جمله آن که یخچال‌های طبیعی تحت تأثیر وزن خود و شیب زمین از نقاط مرتفع به طرف نقاط پایین‌تر به حرکت درمی‌آیند. درحین این حرکت درسرازیری‌ها، یخچال با نیروی عظیم خود سنگ‌های بستر یخچال و گذرگاه آن را از جا کنده با خود حمل می‌کند. این سنگ‌ها را «مورن»<sup>۲</sup> 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.

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.

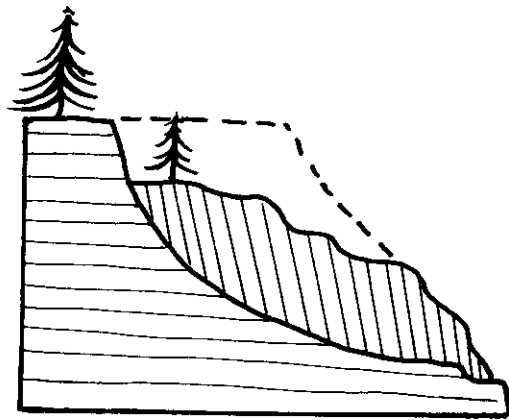
باد: گسترده‌ترین عامل تغییردهنده‌ی سطح زمین «باد» است، زیرا در تمام کره‌ی زمین باد می‌وزد. باد مواد موجود در سطح زمین را با توجه به سرعت و قدرت خود از محلی به محل دیگر منتقل می‌کند و در آن‌جا انباشته می‌سازد. چگونگی حمل مواد از طریق باد تا حدودی به آب جاری شباهت دارد. در این‌جا نیز ذرات به بار معلق و 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 به وسیله‌ی آن صورت می‌گیرد؛ بنابراین، نقش آن کاستن از ارتفاعات و برگردن 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.

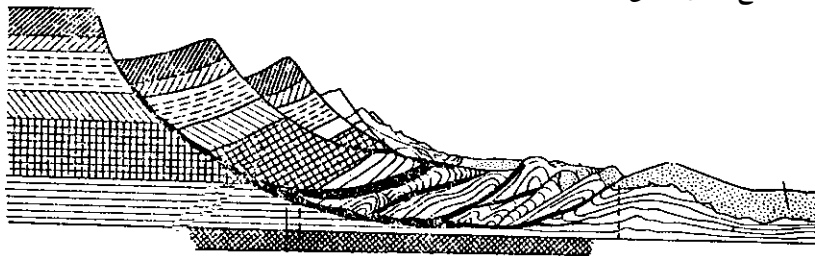
گاهی ممکن است سنگ‌های فرسایش‌یافته‌ای که در مدت زمان طولانی در دامنه‌ی کوه جمع شده‌اند بر اثر فشار زیاد به‌طور ناگهانی به طرف پایین ریزش کنند. این پدیده گاه منجر به مسدود شدن جاده در نقاط کوهستانی می‌شود. ریزش کوه در یکی از شهرهای سوئیس در سال ۱۸۸۱ منجر به آن شد که در حدود ۱۰ تا ۱۱ میلیون متر مکعب سنگ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



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



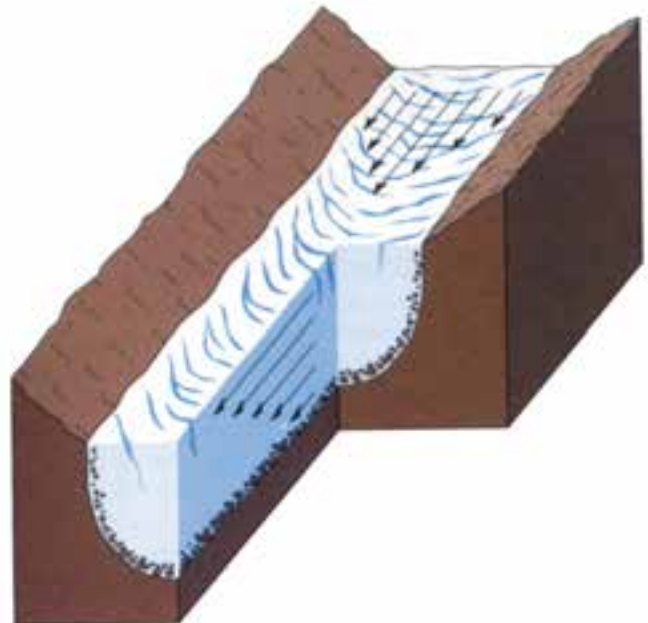
الف) زمین لغزه‌ای که در آن سطح لغزش منحنی است.



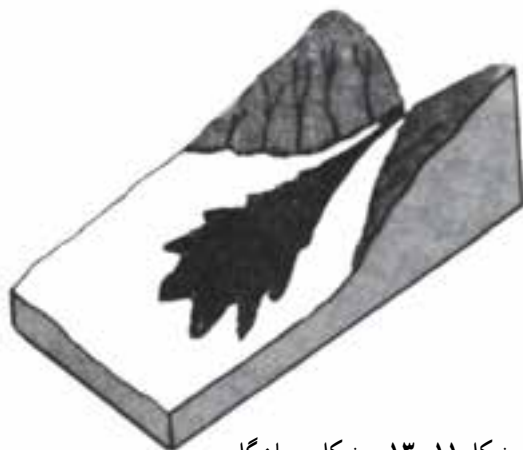
ج) تصویری از یک لغزش مرکب<sup>۱</sup>

شکل ۹-۱۳- پدیده‌ی زمین لغزه

«جریان‌های گل»<sup>۲</sup> 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 آن‌که در نواحی مسطح متوقف می‌شوند. جریان‌های گل همراه خود مقدار زیادی از ذرات و خرده سنگ‌ها را نیز حمل می‌کنند.



شکل ۱۰-۱۳- جابه‌جایی یخچال‌ها بر اثر نیروی ثقل



شکل ۱۱-۱۳- شکل جریان گل

۱ - Composite Land slide

۲ - Mudflow

## تغییر شکل فرسایشی پوسته‌ی جامد زمین

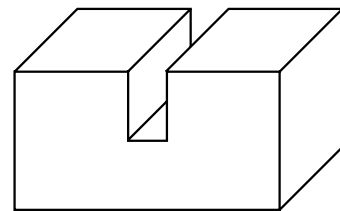
تاکنون دیدیم که پوسته‌ی جامد زمین بر اثر عوامل گوناگونی که به آن‌ها اشاره شد همواره در حال تغییر و تحول است. بر اساس بررسی‌های زمین‌شناسی این موضوع، نه تنها در طی دوران گذشته بلکه در عصر حاضر نیز مصداق دارد. در این قسمت به نقش فرسایشی آب‌های جاری، باد و عمل دریاها و اقیانوس‌ها می‌پردازیم:

**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 دره‌های 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 دره‌هایی به شکل U تشکیل می‌دهد. با دخالت سایر فعالیت‌های فرسایشی مانند هوازدگی، ریزش و سقوط دیواره‌های اطراف، رودخانه از شکل U خارج شده و به شکل V تبدیل می‌شود.

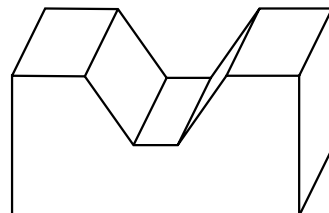
**مئاندر<sup>۱</sup> (رود پیچ):** در زبان یونانی «مئاندر» به معنی خمیدگی است. ضمن آن که مئاندر نام رودی در یونان نیز هست که از خمیدگی‌های زیادی تشکیل شده است. بدین ترتیب، این اصطلاح از آن‌جا پیدا شده که رودخانه‌ها همواره در مسیر خود و هم‌زمان با عمل پهن‌تر کردن بستر خود اشکال مارپیچی به خود می‌گیرند و هلالی‌های خمیده و تقریباً منظمی را به وجود می‌آورند.



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



دره‌ی U شکل



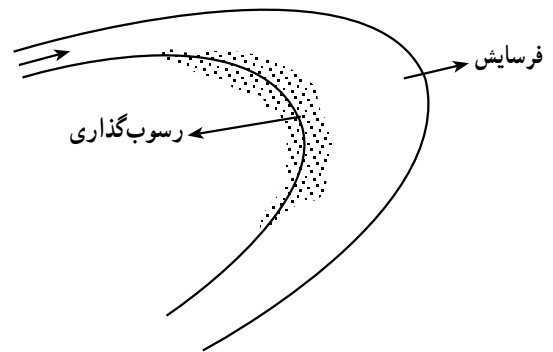
دره‌ی V شکل

شکل ۱۲-۱۳

با توجه به سرعت متفاوت آب و فرسایش نابرابر دیواره‌ی رودخانه در محل‌های محدب و تقعر رودخانه، انحنا برای دو دیواره‌ی اطراف رودخانه یکسان نیست و در سمت محدب پیچ رودخانه سرعت عبور آب از سمت مقعر آن کم‌تر است و در آن عمل رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد.

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 محدب پیچ رودخانه سرعت عبور آب از سمت مقعر آن کم‌تر است و در آن عمل رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد.

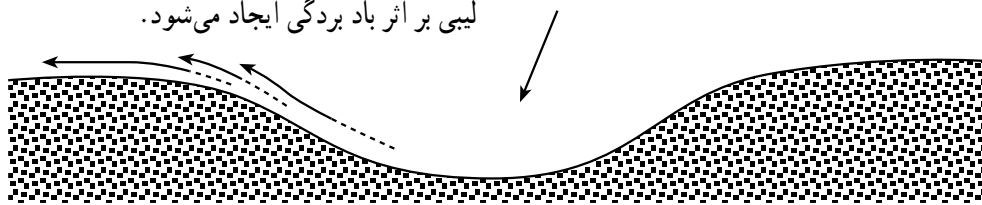
کانسارهای فلزات سنگین مانند طلا و پلاتین، نیز بعضی از کانسارهای الماس به این نحو تشکیل می‌شوند.



شکل ۱۴-۱۳

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

۱- باد بردگی<sup>۱</sup>: عمل از جاکندن و حرکت 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 ۱۵-۱۳- ایجاد گودال به وسیله‌ی عمل باد در صحرا



شکل ۱۶-۱۳- پدیده سنگ‌فرش بیابان

در بعضی مناطق نیز که سطح زمین از سنگ‌ها 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 در جای خود باقی می‌مانند و اطراف آن‌ها خالی می‌شود. منظره‌ای که از حاصل این فعالیت فرسایشی باد ایجاد می‌شود به سنگ‌فرش شباهت دارد از این رو، آن را «سنگ‌فرش بیابان<sup>۲</sup>» می‌نامند.

۱ - Oxbow lake

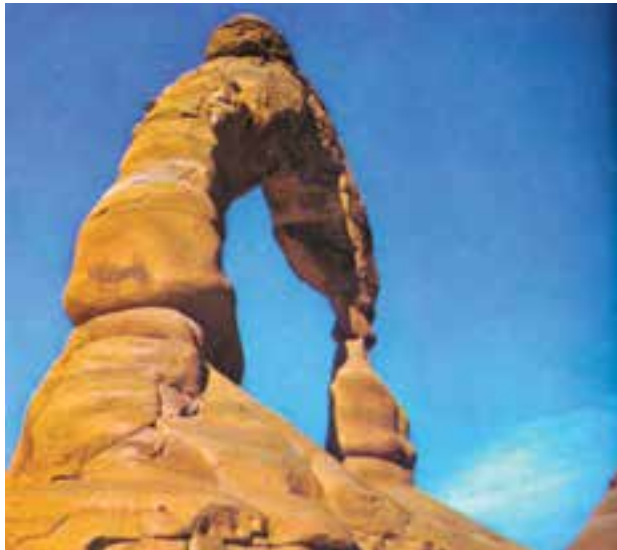
۲ - Deflation به آن دفلاسیون هم می‌گویند

۳ - Desert Pavement





شکل ۱۸-۱۳- منظره‌ی حاصل از بادبردگی باقی ماندن قطعات بزرگ



شکل ۱۹-۱۳- 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 نیروی 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 به تدریج کاسته می‌شود؛ از این رو، قطعات درشت و سنگین در

ساییدگی<sup>۱</sup>: 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 اولیه به سنگی تبدیل شود که دارای چند سطح صاف و صیقلی باشد. این امر در نتیجه‌ی چرخیدن سنگ در مکان اولیه‌ی خود یا تغییر جهت باد است. سنگ‌هایی که با باد- به علت خاصیت ساییدگی ذرات ماسه- به صورت صیقلی، نقطه‌نقطه یا شیاردار درمی‌آیند سنگ‌های «بادساب» نامیده می‌شوند.

گاهی فرسایش بادی در مناطق صحرائی سبب تشکیل



شکل ۱۷-۱۳- سنگ بادساب

شیارهایی در امتداد وزش بادهای اصلی منطقه می‌شود که در رسوبات نرم فرورفتگی‌های عمیق و طولی را به وجود می‌آورد این شیارها را «بادکند» می‌نامند. به دیواره یا تیغه‌های بین شیارها نیز یاردانگ<sup>۲</sup> 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

۱ - Abrasion

۲ - Ventifact Rocks

۳ - Yardang

بستر یخچال وزنی معادل  $15^\circ$  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.

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



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



ج



ب

شکل ۲۰-۱۳- فرسایش یخچالی

## خودآزمایی

- ۱- هوازدگی را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
- ۲- آب تحت تأثیر چه عاملی و چگونه در هوازدگی فیزیکی عمل می‌کند؟
- ۳- هیدراته شدن و دهیدراته شدن چه تفاوتی دارند؟ مثالی بزنید.
- ۴- کلاهدک آهنی چیست؟ تحت تأثیر کدام عامل هوازدگی کلاهدک آهنی بوجود می‌آید؟
- ۵- گیاهان و جانوران چگونه به طریق شیمیایی در پدیده‌ی هوازدگی عمل می‌کنند؟
- ۶- چرا ماسه سنگ‌ها در مقابل هوازدگی مقاومت‌های مختلفی از خود نشان می‌دهند؟ مثالی بزنید.
- ۷- کانی‌های موجود در سنگ گرانیت بر اثر هوازدگی به چه کانی‌های دیگری تبدیل می‌شوند؟
- ۸- پدیده‌ی زمین لغزه چه تفاوتی با پدیده‌ی ریزش قطعات سنگ در دامنه‌ی کوه‌ها دارد؟ چه تشابهی بین این دو پدیده وجود دارد؟
- ۹- مورن چیست؟
- ۱۰- تفاوت دره‌های U شکل و V شکل از کجا ناشی می‌شود؟
- ۱۱- متاندر چیست؟ چگونه تبدیل متاندر به دریاچه‌ی شاخ گاوی را توضیح دهید.
- ۱۲- بادبردگی چیست؟ چگونه این پدیده سنگ‌فرش بیابان را شکل می‌دهد؟
- ۱۳- بادکند و یاردانگ چیست؟
- ۱۴- حمل و نقل مواد از طریق آب‌های جاری و باد چه تفاوتی باهم دارند؟
- ۱۵- ترتیب نشست قطعات فرسایش یافته از طریق دریاها و اقیانوس‌ها، چگونه است؟