

فهرست

پیشگفتار	یازده
هدف کلی	پانزده
فصل اول: تخریب و هوازدهی	۱
هدف مرحله‌ای فصل اول	۲
هدفهای آموزشی - رفتاری	۲
۱-۱ فرایندهای اصلی یا اولیه فرسایش	۳
الف) تخریب و هوازدهی و فعالیتهای زیستی	۴
ب) شرایط سنگ‌شناسی	۵
۲-۱ اعمال مکانیکی هوازدهی و تخریب	۱۰
الف) متلاشی شدن حرارتی	۱۰
ب) متلاشی شدن آبی	۱۴
۳-۱ اعمال فیزیکی و شیمیایی هوازدهی و تخریب	۱۸
الف) انحلال	۱۸
ب) هوازدهی شیمیایی	۲۰
۴-۱ تخریب و هوازدهی زیستی	۲۲
۵-۱ خلاصه فصل اول	۲۵
خودآزمایی ۱	۲۶
فصل دوم: فرایندهای حمل بر سطح دامنه‌ها	۲۹
هدف مرحله‌ای فصل دوم	۲۹
هدفهای آموزشی - رفتاری	۳۰

۳۱	۱-۲ اصول جابه‌جایی عناصر رسوبهای سطحی
۳۱	الف) سقوط سنگها و ریزش
۳۴	ب) خزش
۳۷	۲-۲ حرکات یکپارچه و توده‌ای شکل
۳۸	الف) لغزش
۴۳	ب) سولی فلوکسیون
۵۲	۳-۲ شستشو
۵۲	الف) انواع هرزابه‌های اولیه
۵۴	ب) نقش شکل‌زایی هرزابه‌های اولیه
۵۶	۴-۲ خلاصه فصل دوم
۵۷	خودآزمایی ۲
۵۹	فصل سوم: عوامل مهم حمل
۶۰	هدف مرحله‌ای فصل سوم
۶۰	هدفهای آموزشی - رفتاری
۶۲	۱-۳ آبهای جاری
۶۲	انواع جریانها
۶۳	الف) شطها و رودها
۷۰	ب) سیلابها و خشک‌رودها
۷۲	ج) هرزابه‌های پراکنده پایکوهها
۷۴	۲-۳ فعالیت آبهای جاری
۷۴	الف) دینامیک آب
۷۸	ب) حمل آبرفتها
۸۰	ج) برداشت و رسوبگذاری
۹۰	۳-۳ خلاصه فصل سوم
۹۳	خودآزمایی ۳
۹۵	فصل چهارم: اشکال مهم تراکمی آبهای جاری
۹۵	هدف مرحله‌ای فصل چهارم
۹۵	هدفهای آموزشی - رفتاری
۹۶	۱-۴ دشتهای آبرفتی
۹۸	۲-۴ مخروطهای افکنه
۱۰۲	۳-۴ پادگانه‌های آبرفتی
۱۱۱	۴-۳-۱ مطالعه پادگانه‌های آبرفتی
۱۱۵	۴-۴ خلاصه فصل چهارم
۱۱۷	خودآزمایی ۴

۱۱۹	فصل پنجم: نیمرخ تعادل طولی بستر
۱۱۹	هدف مرحله‌ای فصل پنجم
۱۱۹	هدفهای آموزشی - رفتاری
۱۲۰	۱-۵ انواع نیمرخ تعادلی
۱۲۰	الف) نیمرخ تعادل نظری
۱۲۳	ب) نیمرخ تعادل حقیقی
۱۲۴	۲-۵ فراهم شدن تدریجی نیمرخ تعادل
۱۲۹	۳-۵ خلاصه فصل پنجم
۱۳۰	خودآزمایی ۵
۱۳۳	فصل ششم: یخچالها
۱۳۳	۱-۶ شرایط و نحوه تشکیل یخچالها
۱۳۵	هدف مرحله‌ای ۱-۶
۱۳۵	هدفهای آموزشی - رفتاری
۱۳۶	۱-۱-۶ انواع یخچالها
۱۳۶	الف) یخچالهای ناحیه‌ای یا قاره‌ای
۱۴۰	ب) یخچالهای محلی
۱۴۹	خلاصه ۱-۶
۱۵۱	خودآزمایی ۱-۶
۱۵۱	۲-۶ حرکت یخها و زبانه‌های یخچالی
۱۵۲	هدف مرحله‌ای ۲-۶
۱۵۲	هدفهای آموزشی - رفتاری
۱۵۳	۱-۲-۶ ویژگیهای حرکت یخچالی
۱۵۷	۲-۲-۶ تحلیل جریانهای یخچالی
۱۶۰	۳-۲-۶ فعالیت فرسایشی یخچالها
۱۶۱	۴-۲-۶ حمل یخرفته‌ها
۱۶۲	الف) یخرفته‌های خارجی یا سطحی
۱۶۳	ب) یخرفته‌های جانبی
۱۶۵	ج) یخرفته‌های میانی
۱۶۶	د) یخرفته‌های کف
۱۶۸	ه) یخرفته‌های پیشانی
۱۷۰	خلاصه ۲-۶
۱۷۲	خودآزمایی ۲-۶

۱۷۳	۳-۶ برداشت و تراکم یخرفتها
۱۷۴	هدف مرحله‌ای ۳-۶
۱۷۴	هدفهای آموزشی - رفتاری
۱۷۵	۱-۳-۶ اشکال کاوشی فرسایش یخچالی
۱۷۵	الف) سیرک یخچالی
۱۷۶	ب) دره‌های یخچالی
۱۷۸	ج) نیمرخ عرضی دره یخچالی
۱۸۲	۲-۳-۶ اشکال تراکمی یخرفتها
۱۸۳	الف) دروملینها
۱۸۴	ب) اُس
۱۸۴	ج) اسکر
۱۸۵	د) را (سالیوسلکا)
۱۸۵	ه) ساندور
۱۸۶	و) وارو
۱۸۶	خلاصه ۳-۶
۱۸۷	خودآزمایی ۳-۶
۱۸۹	فصل هفتم: فرسایش بادی
۱۸۹	۱-۷ جریان هوا
۱۹۰	هدف مرحله‌ای ۱-۷
۱۹۰	هدفهای آموزشی - رفتاری
۱۹۴	۱-۱-۷ فرسایش بادی
۱۹۵	۲-۱-۷ چگونگی حمل ماسه
۲۰۰	خلاصه ۱-۷
۲۰۱	خودآزمایی ۱-۷
۲۰۲	۲-۷ چهره‌های کاوشی فرسایش بادی
۲۰۳	هدف مرحله‌ای ۲-۷
۲۰۳	هدفهای آموزشی - رفتاری
۲۰۳	۱-۲-۷ دشت ریگی
۲۰۴	۲-۲-۷ چاله‌های بادی
۲۰۵	۳-۲-۷ قلوه سنگهای چندوجهی (منشوری)
۲۰۶	۴-۲-۷ یاردانگها
۲۰۸	۵-۲-۷ کندوهای بادی
۲۱۰	۶-۲-۷ کلوته‌ها
۲۱۱	۷-۲-۷ تخته سنگهای قارچی

۲۱۳	خلاصه ۲-۷
۲۱۵	خودآزمایی ۲-۷
۲۱۶	۳-۷ اشکال فرسایش تراکمی باد
۲۱۶	هدف مرحله‌ای ۳-۷
۲۱۶	هدفهای آموزشی - رفتاری
۲۱۷	۱-۳-۷ پیکان ماسه‌ای
۲۱۸	۲-۳-۷ نبکا یا تل نباتی
۲۱۹	۳-۳-۷ پیکرا یا برخان
۲۲۳	۴-۳-۷ سیف یا شمشیر
۲۲۴	۵-۳-۷ هرمهای ماسه‌ای
۲۲۵	۶-۳-۷ رپیل مارک یا چین و شکن ماسه‌ای
۲۲۷	۷-۳-۷ ویژگی ماسه‌های بادی
۲۲۸	خلاصه ۳-۷
۲۲۹	خودآزمایی ۳-۷
۲۳۱	فصل هشتم: فرسایش ساحلی
۲۳۱	۸-۱ فرسایش ساحلی
۲۳۲	هدف مرحله‌ای ۱-۸
۲۳۲	هدفهای آموزشی - رفتاری
۲۳۲	۱-۱-۸ فرسایش دریایی
۲۳۲	الف) اعمال مکانیکی
۲۳۳	عمل امواج
۲۳۷	جریانهای دریایی
۲۳۹	ب) اعمال شیمیایی و زیستی
۲۳۹	اعمال شیمیایی
۲۴۱	اعمال زیستی
۲۴۲	خلاصه ۱-۸
۲۴۴	خودآزمایی ۱-۸
۲۴۴	۲-۸ ویژگیهای استران
۲۴۵	هدف مرحله‌ای ۲-۸
۲۴۵	هدفهای آموزشی - رفتاری
۲۴۶	۱-۲-۸ تأثیر نوسان سطح دریاها در اعمال مکانیکی
۲۴۷	۲-۲-۸ تأثیر نوسان سطح دریا در اعمال شیمیایی
۲۴۸	۳-۲-۸ دخالت‌های خارجی
۲۴۸	تأثیر عوامل جوی در فرسایش دریایی
۲۴۸	تأثیر در تلاطم آب دریا

۲۵۰	تأثیر بر کیفیت آب دریا
۲۵۲	۸-۲-۴ دخالت عوامل فرسایشی خشکیها
۲۵۲	۸-۲-۵ نقش عوامل خشکی در شکل‌زایی کمربند ساحلی
۲۵۵	۸-۲-۶ نقش عوامل خشکی در تدارک رسوب برای فرسایش
۲۵۶	خلاصه ۸-۲
۲۵۷	خودآزمایی ۸-۲
۲۵۹	فصل نهم: فرسایش انسانی
۲۵۹	هدف مرحله‌ای فصل نهم
۲۵۹	هدفهای آموزشی - رفتاری
۲۶۰	۹-۱ چهره‌های متنوع فرسایش انسانی
۲۶۶	۹-۲ عوامل فرسایش انسانی
۲۷۲	۹-۳ خلاصه فصل نهم
۲۷۳	خودآزمایی ۹
۲۷۵	پاسخ خودآزماییها
۲۸۵	منابع

پیشگفتار

محیط زندگی ما سرشار از تنوع است. این تنوع در عوامل متعددی منشأ دارد که با توجه به چگونگی پیدایش و ترتیب و نحوه عملکردشان به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروهی که از فعل و انفعالات گدازه‌های درونی کره زمین ناشی می‌شوند. از این گروه، قبلاً با عنوان دینامیک درونی، در جلد اول، *ژئومورفولوژی ساختمانی* بحث شده است. منشأ عوامل گروه دوم در جو زمین است و در کتاب حاضر با عنوان *ژئومورفولوژی دینامیک بیرونی* از آنها بحث شده است. این عوامل به دو دسته انسانی و طبیعی تقسیم شده‌اند. عوامل طبیعی از عناصر اقلیمی تشکیل می‌شوند که شامل بارش و دما و فشارند. سرانجام، به آثار دخالت انسان به منزله یکی از عوامل فرسایش توجه شده است. عوامل طبیعی تقریباً همزمان با عملکرد دینامیک درونی و ایجاد اولین ناهمواریها در سطح خشکیها وارد عمل می‌شوند. این عناصر به تدریج و متناسب با شرایط اقلیمی هر ناحیه ناهمواریهای اولیه پوسته جامد زمین را تغییر می‌دهند و نهایتاً به علت تداوم عملکرد و طول مدت دخالت، اغلب آثار دینامیک درونی را به کلی از بین می‌برند. به عبارت دیگر، در مجموع دینامیک درونی اختلاف ارتفاع (ارتفاع نسبی) ناهمواریها را افزایش می‌دهد، درحالی‌که دینامیک بیرونی آن را کاهش می‌دهد و به حداقل می‌رساند. در مراحل اول، به علت برتری حرکات ناشی از دینامیک درونی، ارتفاعات شکل می‌گیرند و ناهمواریهای عظیمی در سطحی وسیع به وجود می‌آیند. اما، پس از کاهش دخالت نیروهای درونی و توقف نسبی آنها، دینامیک بیرونی همچنان فعال باقی می‌ماند، به همین دلیل، غلبه نهایی با دینامیک بیرونی است. این فرایند از آغاز

پیدایش پوسته جامد زمین به کرات تکرار شده و آثار آن را محققان زمین‌شناس و پیکرشناس زمین‌شناسایی و طبقه‌بندی کرده‌اند. در نتیجه، تنوع چشم‌اندازهای طبیعی حاصل دخالت مشترک دینامیک درونی و بیرونی در طول زمان است.

در کتاب حاضر به نقش عوامل سازنده دینامیک بیرونی و چگونگی عملکرد آنها به ترتیب دخالت زمانی و به تفکیک عامل اشاره می‌شود. مهمترین عوامل دینامیک بیرونی دما و بارش و تغییرات فیزیکی آنها برحسب زمان و مکان است. تغییرات دما هم در بالاتر از صفر درجه و هم در حوالی صفر درجه سانتی‌گراد بسیار کارساز است و از عواملی است که، به محض تشکیل ناهمواری، بسته به میزان ارتفاع و موقع جغرافیایی آن دخالت آشکار دارد. عامل بارش در چهره‌های مختلف جامد و مایع و بخار یکی از مهمترین این عوامل به‌شمار می‌رود. اشتراک دما و بارش، به‌صورت اولین و مهمترین عامل فرسایش، مسئول متلاشی‌شدن و انحلال و تجزیه شیمیایی سنگهاست که در این کتاب با عنوان هوازدگی و تخریب بررسی شده است. نقش اصلی این عامل متلاشی‌کردن سنگهای سخت و، در نتیجه، سست کردن آنهاست.

به‌محض تشکیل فراورده‌های هوازدگی و تخریب بر سطح دامنه‌ها، عوامل دما و آب، به کمک دخالت نیروی جاذبه، گروه دوم فرایندهای فرسایشی را تشکیل می‌دهند. از این عوامل با عنوان فرایندهای اولیه فرسایش بر سطح دامنه‌ها یاد شده است. برحسب جنس و نسبت مقاومت سنگها و با توجه به شرایط اقلیم حاکم بر نواحی مختلف، این فرایندها به‌صورت ریزش و لغزش و خزش و سولی فلوکسیون و شستشو، مدام بر چهره زمین تأثیر می‌گذارند و آن را تغییر می‌دهند. نقش اصلی این پدیده‌ها، انتقال کُند یا سریع مواد تخریب شده از طریق هوازدگی و تخریب به سمت خط‌القعرهای محلی است.

همزمان با فعالیت پدیده‌های فوق، عوامل مهم دیگری چه در سطح دامنه‌ها و چه در خط‌القعرهای اصلی فعالیت دارند. گرچه این عوامل در طبقه‌بندی زمانی اعمال فرسایشی در مرحله سوم قرار دارند، اما به‌دلیل اهمیت نقش آنها مهمترین عامل فرسایشی محسوب می‌شوند و کار اصلی آنها در درجه اول انتقال و تخلیه رسوبهای تخریبی و، سپس به کمک همین رسوبها، حفر مسیر جریان خود است. از این رو، در نوشته حاضر آنها را با عنوان، عوامل مهم بررسی کرده‌ایم. چنانچه این اعمال فرسایشی

وجود نمی‌داشتند، به تدریج دره‌ها از مواد تخریبی انباشته می‌شدند و مجموعه ناهمواریها با پوشش رسوبی نسبتاً ضخیم مدفون می‌شدند و تقریباً تمام اعمال فرسایشی متوقف می‌شدند. عوامل حمل شامل آب جاری، یخچالها و باد است. دینامیک این عوامل به‌طور جداگانه بررسی شده‌اند. چگونگی تأثیر این پدیده‌ها و قلمرو عملکرد و اشکال حاصل از مراحل فرسایشی آنها به تفکیک مطالعه و بررسی شده‌اند. از طریق شناسایی ویژگیهای اشکال بازمانده از هر عامل می‌توان، به‌سهولت، نقش هر یک از آنها را در تنوع چهره ناهمواری باز شناخت.

در قلمرو حاشیه‌ای دریاها و دریاچه‌های بزرگ عامل فرسایشی دیگری دخالت دارد که، از لحاظ کیفیت عملکرد، با سایر عوامل فرق دارد و با عنوان فرسایش ساحلی مطالعه شده است. هر چند شدت دخالت آن با توجه به عرض جغرافیایی یکسان نیست، اما نحوه عملکرد آن در سراسر سواحل تقریباً مشابه است. با توجه به استقرار بخش عظیمی از مراکز انسانی و صنعتی و تجارتی در حاشیه دریاها، آگاهی بر کیفیت عملکرد فرسایش ساحلی در زمینه‌های مختلف اهمیت فراوان دارد.

سرانجام، با توجه به ظهور انسان در سطح کره زمین و چگونگی دخالت‌های او در زمینه بهره‌برداری از محیط طبیعی، به نقش جوامع انسانی همچون عامل فرسایشی توجه کرده‌ایم. از آنجا که در هر ناحیه، محیط طبیعی تحت تأثیر شرایط نسبتاً پایداری شکل گرفته و از ویژگیهای خاص برخوردار است، لذا امکان هر نوع بهره‌برداری صحیح، جز از طریق شناسایی ویژگیهای محیطی آن ممکن نخواهد بود. متأسفانه در پاره‌ای موارد دخالت‌های نابجای انسان، حتی گاهی با آگاهی قبلی، زیانها و صدماتی به محیط طبیعی وارد ساخته که غالباً در کوتاه‌مدت جبران‌ناپذیر می‌باشند.

با عنایت به مطالب بالا و با توجه به اینکه آگاهی بر ویژگیهای محیط طبیعی در هر زمینه و برای هر فرد یا گروه امکان بهره‌وری بهینه از مواهب آن را تسهیل می‌کند. کتاب ژئومورفولوژی دینامیک (بیرونی) در نه فصل تدوین شده است.

این کتاب ویژه دانشجویان رشته کارشناسی جغرافیای دانشگاه پیام‌نور تهیه شده. به‌همین دلیل، نحوه تهیه آن تا حدودی با کتابهای مشابه دانشگاههای دیگر تفاوت دارد. البته، این نوشته می‌تواند در زمینه ژئومورفولوژی برای تمام دانشجویانی که با محیط و رشته‌های علوم طبیعی سروکار دارند قابل استفاده باشد. در کتاب تا جایی که حجم و

محتوای علمی کتاب امکان داده، از عکسها و تصاویر مختلف متناسب با موضوعهای بررسی استفاده شده است. شرح مسائل به صورت ساده دانشجویان را قادر می سازد که، در غیاب استادراهنما، مطالب را به سهولت بیاموزند و، در صورت علاقه بتوانند مثالهای مشابه را در محیط پیرامونی خود باز شناسند. سعی شده است که مثالهای متن در حد شناخت نگارنده از کشور خود ما ایران انتخاب شوند. در غیر این صورت، به نمونه های شناخته شده در سطح دنیا اشاره شده است.

سلسله مراتب عملکرد عوامل فرسایش، به همان ترتیبی که در محیط طبیعی اعمال می شوند، در تدوین متن رعایت شده است و انتظار می رود که دانشجویان عزیز، با دقت و حوصله، مطالب کتاب را به صورت منظم دنبال کنند. با وجود اینکه کلیه اعمال فرسایشی مشترکاً و همزمان در سطح تمام خشکیها انجام می شوند، برای درک بهتر آنها، هر موضوع بر حسب اولویت در فصلی جداگانه مطالعه شده است. با در نظر گرفتن این مطلب که کلیه متن باید در طول یک ترم تدریس شود، متناسب با زمان و اهمیت موضوع گاهی بعضی از فصول در دو یا سه قسم جداگانه تدوین شده است تا یادگیری آن در یک جلسه آسانتر صورت گیرد. پیشنهاد نگارنده به دانشجویان و سایر علاقه مندان این است که مطالعه این پیشگفتار و درک مفاهیم محتوای آن را مقدم بر آموختن متن اصلی قرار دهند. در خاتمه از کلیه صاحب نظران انتظار دارد با تذکر نواقص این نوشته از طریق دانشگاه پیام نور، این جانب و دانشجویان علاقه مند را مرهون عنایت خود قرار دهند.

فرج الله محمودی

۱۳۷۲

هدف کلی

در مجموعه گفتارهای ژئومورفولوژی ۱، با عنوان «دینامیک درونی» یا مجموعه عوامل درونی مؤثر در تشکیل اشکال سطح زمین، گفته شد که چگونه دینامیک درونی، اشکال اولیه سطح زمین را می‌سازند. در این قسمت از بحثهای ژئومورفولوژیکی که با نام ژئومورفولوژی ۲، یا دینامیک بیرونی مطرح می‌شوند، با مجموعه عوامل بیرونی مؤثر در شکل‌گیری تدریجی سطح زمین، همزمان و پس از عمل دینامیک درونی آشنا خواهید شد.

دینامیک بیرونی که به مجموعه عوامل جوئی یا عناصر اقلیمی گفته می‌شود، در حالت‌های مختلف بر سطح زمین اثر می‌کند و اشکال آن را در طول زمان متناسب با ماهیت اشکال اولیه و مکان قرارگیری آنها در سطح زمین دگرگون می‌کند و چهره جدیدی به آنها می‌دهد. در این درس با تأثیرات مختلف دینامیک بیرونی و نحوه عمل آنها در شکل‌بانی سطح زمین آشنا خواهید شد.

فصل اول

تخریب و هوازدگی

مقدمه

در کتاب اول دیدیم که چگونه ناهمواریهای اولیه یا اصلی زمین بر اثر دخالت نیروهای درونی به وجود می آیند. بنابراین، اشکال اولیه ناهمواریها، حاصل دخالت مستقیم دینامیک درونی زمین است. در این کتاب، آن دسته از پدیده های خارجی کره زمین مطالعه می شوند که در پیدایش تدریجی اشکال کنونی ناهمواریها، دخالت داشته اند. بنابراین، اشکال موجود حاصل عمل مشترک دینامیک درونی و دینامیک بیرونی زمین است. اشکال موجود را مشتق می نامند.

دینامیک بیرونی زمین با توجه به شرایط اقلیمی به صور مختلف عمل می کند: در مرحله ای از عملکرد، با ایجاد حفره ها و شیارها، ضمن تغییر شکل ناهمواریهای اصلی بر تنوع و خشونت آنها می افزاید و مواد حاصل از تخریب را به نقاط دور و نزدیک انتقال می دهد. زمانی با رسوب دادن و تراکم همین مواد تخریبی در نواحی پست از خشونت ناهمواریها می کاهد و ارتفاع نسبی را به طور محسوسی کاهش می دهد. بنابراین، آثار دخالت دینامیک بیرونی در سه چهره: برداشت (حفر) و حمل و تراکم ظاهر می شود. در تغییر مرحله ای اشکال اولیه و تحولات بعدی آنها عوامل مختلفی دخالت دارند. مهمترین این عوامل عبارت اند از: تغییرات درجه حرارت در بالای صفر درجه سانتیگراد (ترموکلاستی)^۱ و یا در حوالی صفر درجه سانتیگراد (کریوکلاستی)^۲، و آب: در

1. thermoclastic

2. cryoclastic

در حالات مختلف فیزیکی (مایع - جامد و بخار) و باد و موجودات زنده. نیروی محرکه این اعمال مستقیماً از طریق تشعشع خورشیدی و نیروی جاذبه فراهم می‌شود. پس چگونگی تحول آنها بسیار متفاوت است و در قالب فرایندهای^۱ مختلف فرسایش است. تعدادی از این فرایندها فقط بر روی سنگهای عریان بر سطح دامنه‌ها عمل می‌کنند. بنابراین، می‌توان آنها را فرایندهای آغازین نامید. گروهی دیگر از فرایندها به شکل عوامل حمل و جابه‌جایی رسوبها وارد عمل می‌شوند. سرانجام از ترکیب همه فرایندها سیستمهای مختلف شکل‌زایی به وجود می‌آیند.^۲

هدف مرحله‌ای فصل اول

در این فصل با فرایندهای اولیه فرسایش، مراحل مختلف آن و ماهیت هرکدام از آنها آشنا خواهید شد. در مجموعه بحثهای این فصل سعی خواهد شد که در کنار ویژگیهای فیزیکی سنگها که با عنوان «شرایط سنگ‌شناسی» مطرح می‌شود، مراحل «مکانیکی»، «فیزیکی - شیمیایی» و «زیستی» تخریب یا هوازدگی بازگو و مکانیسم آنها نیز توضیح داده شود.

هدفهای آموزشی - رفتاری

- از دانشجویان انتظار می‌رود که پس از مطالعه این فصل به مجموعه هدفهای رفتاری زیر دست یابند.
- با مفهوم ناپایداری اشکال سطح زمین آشنا شوند.
- اهمیت آشنایی با عملکرد عوامل فرسایش را باتوجه به تشخیص عامل اصلی ایجاد تک‌تک اشکال دریابند.
- عملکرد فرسایش انواع فرایندهای اصلی را بدانند.

۱. چگونگی عملکرد عوامل فرسایش که بیشتر در چهره فرایندهای مکانیکی و شیمیایی ظاهر می‌شوند.
 ۲. ایجاد یا تحول اشکال ناهمواریها بر اثر دخالت نیروهای درونی مانند: تغییرشکلهای زمین‌ساختی یا خشکی‌زایی و آتشفشانی و یا تحت‌تأثیر نیروهای بیرونی مانند عوامل فرسایش را شکل‌زایی Morphogenese می‌نامند. اما مجموعه پدیده‌های شکل‌زایی و اشکال خاص حاصل از آنها در یک قلمرو اقلیمی، سیستم شکل‌زایی گفته می‌شود.

تخریب و هوازدهی ۳

- نقش شرایط سنگ‌شناسی را در میزان تأثیر دینامیک بیرونی درک کنند.
- عواملی را که، با عنوان شرایط سنگ‌شناسی، در میزان نقش دینامیک بیرونی تأثیر می‌گذارند، بشناسند و، ضمن ذکر نام آنها، ماهیت هر کدام را تشریح کنند.
- با مفهوم هوازدهی یا تخریب مکانیکی آشنا شوند.
- منشأهای مختلف تخریب مکانیکی را نام ببرند.
- منشأ حرارتی تخریب مکانیکی و ماهیت آن را توضیح دهند.
- حالت‌های مختلف تأثیر حرارت در تخریب مکانیکی را شرح دهند.
- منشأ آبی تخریب مکانیکی و ماهیت و مکانیسم آن را تشریح کنند.
- حالت‌های مختلف تأثیر آب در تخریب مکانیکی را توضیح دهند.
- مفهوم اعمال فیزیکی - شیمیایی تخریب و هوازدهی را شرح دهند.
- مفهوم انحلال را، به عنوان عمل فیزیکی در فرایند تخریب شرح دهند و نقش و ماهیت آن را تشریح کنند.
- مفهوم هوازدهی یا تخریب شیمیایی و چگونگی عملکرد آن را توضیح دهند.
- نقش شرایط سنگ‌شناسی در هوازدهی شیمیایی را بدانند.
- مفهوم تخریب یا هوازدهی زیستی را شرح دهند.
- انواع هوازدهی زیستی را با توجه به شرایط مختلف جغرافیایی تمیز دهند.

۱-۱ فرایندهای اصلی یا اولیه فرسایش

برخلاف تصور ظاهری ما از ثبات اشکال ناهمواری، این عوارض هرگز به صورت کامل تثبیت نمی‌شوند. به علت کندی اثر بعضی از عوامل فرسایش، یا برعکس، عملکرد سریع بعضی دیگر از آنها با فعالیت فرایندهای فرسایش، معمولاً در مشاهده مستقیم، جز در لحظاتی بسیار استثنایی، قابل دیدن نیستند. اما آثار برداشتهای جدید یا قدیم و تغییرات اساسی در ساختمانهای اولیه ناهمواریها از یک طرف و نیز وجود رسوبهای تخریبی غالباً ضخیم یا وسیع، در سطح و پای دامنه‌ها، و سرانجام تراکم همین رسوبها، در کف چاله‌ها و دشتهای، نشان می‌دهد که این عوامل، در گذشته یا اکنون، فعالیت دایمی دارند.

مطالعه این آثار، مخصوصاً بررسی بقایای رسوبهای همزمان با حفر^۱ این عوارض که اغلب در مجاور همین اشکال به وجود آمده و روی هم متراکم می‌شوند، هویت عامل مولد آنها را روشن می‌سازد. زیرا هر عامل به صورت خاصی اثر دخالت خود را در بافت و شکل و نحوه جایگزینی (ساختمان) رسوبهای تخریبی به جای می‌گذارد. بنابراین، اگر ما با آثار دخالت هریک از عوامل فرسایش آشنا باشیم، به آسانی می‌توانیم عامل اصلی تغییر شکل و دستکاری ناهمواریها را بر اثر دینامیک بیرونی زمین تشخیص بدهیم. مطالعه همین رسوبها در آزمایشگاه اطلاعات دقیقتر و جامع‌تری در اختیار ما قرار می‌دهد.

فرایندهای اصلی برحسب چگونگی عملکردشان به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول ناشی از عناصر اقلیمی دما و آب‌اند که در حمله به سنگهای یکپارچه و مقاوم سبب هوازگی و متلاشی شدن آنها می‌شوند و دوش به دوش عوامل زیستی عمل می‌کنند. اما گروه دوم، به کمک نیروی جاذبه، در ساخت و پرداخت دامنه‌ها سهیم‌اند و جابه‌جایی و حمل محلی عناصر متلاشی شده را سبب می‌شوند.

الف) تخریب و هوازگی^۲ و فعالیتهای زیستی

مجاورت کره سنگی (لیتوسفر) با جو زمین (آتمسفر) و کره زیستی (بیوسفر)، سبب تخریب و متلاشی شدن سنگها به کمک عناصر اقلیمی و عوامل زیستی می‌شود. این فرایند، بویژه در مورد سنگهای سخت و یکپارچه، بسیار اهمیت دارد. زیرا در نهایت آنها را به قطعات منفصل ریز و درشت تقسیم می‌کند و، در چنین شرایطی، فعالیت فرایندهای شکل‌زایی به سهولت انجام‌پذیرند.

متخصصان زمین‌شناسی و خاک‌شناسی این پدیده‌های متنوع و پیچیده را جداگانه و با هدف‌های متفاوت مطالعه می‌کنند. پیکرشناسان زمین از مطالعات آنها استفاده می‌کنند و در تحلیل مسائل از آنها یاری می‌جویند. عملکرد این پدیده‌ها به صورت‌های فیزیکی یا شیمیایی ظاهر می‌شوند. نتیجه دخالت این پدیده‌ها، هرچه باشد، رابطه بسیار نزدیکی با شرایط کانی‌شناسی سنگها دارند. بنابراین، آشنایی با شرایط سنگ‌شناسی ضروری به نظر می‌رسد.

1. dépôts corrélatifs

2. météorisation

ب) شرایط سنگ‌شناسی

تجربه نشان داده که ویژگی فیزیکی سنگها در برابر تأثیرات اقلیمی و زیستی نقش تعیین‌کننده‌تری دارند. بنابراین، نحوه مجاورت سنگها با عوامل مهاجمی مانند: حرارت و آب و باد و موجودات زنده می‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد. به عبارت دیگر، چنانچه سنگی مستقیماً در تماس با جو زمین باشد یا لایه‌ای از رسوبهای تخریبی آن را از مجاورت با هوا محروم کند، به یک صورت و یک اندازه تحت تأثیر عوامل جوی قرار نخواهد گرفت. شدت و نوع تخریب در حالت اول به مراتب بیش از حالت دوم خواهد بود.

از میان مهمترین ویژگیهای فیزیکی سنگها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد که در اعمال تخریب و هوازدگی نقشی اساسی به عهده دارند. اهم این ویژگیها شامل: رنگ، اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده سنگ، شکل ظاهری دانه‌ها، نسبت تراکم کانیها، میزان نفوذپذیری آنها و سرانجام وجود درزها و شکافهای متعددی است که منشأهای متفاوتی دارند.

مجموعه کانیها را می‌توان به دو دسته روشن و تیره تقسیم کرد. به علت انعکاس شدید کانیهای روشن، میزان جذب حرارت در آنها ناچیز است، درحالیکه کانیهای تیره نسبت بیشتری از حرارت را جذب می‌کنند و سریعتر گرم می‌شوند. بدین ترتیب، به نقش تعیین‌کننده دما در اغلب اعمال فیزیکی و شیمیایی پی می‌بریم. اندازه قطر کانیهای تشکیل‌دهنده سنگها نیز در میزان مقاومت سنگها دخالت دارد. هرچه دانه‌ها ریزتر باشند، به طور طبیعی نسبت تراکم آنها زیادتر خواهد بود و برعکس در دانه‌های درشت‌تر فضاهای خالی بیشتری وجود خواهند داشت. بنابراین، سنگهای دانه‌ریز اصولاً مقاومت بیشتری از سنگهای دانه‌درشت دارند.

در همین زمینه شکل کانیها نیز دخالت مشابهی دارند. تشکیل بلورها به ترکیب شیمیایی آنها بستگی دارد. بنابراین، هر اندازه سنگ از کانیهای متعددتری تشکیل شده باشد، تنوع شکل و تخلخل بیشتری خواهد داشت (مانند اغلب سنگهای آذرین). همین موضوع در مورد اغلب سنگهای رسوبی تخریبی نیز صادق است. بدین ترتیب هرچه دانه‌ها به حالت کروی نزدیک‌تر باشند، تراکم زیادتری دارند و سنگ مقاومتری به وجود می‌آورند. برعکس، در دانه‌های بی‌شکل، نسبت تراکم کمتر است و فضاهای خالی

زیادتر، از مقاومت سنگها می‌کاهند.

میزان نفوذپذیری سنگها با شکل و اندازه کانیهای تشکیل‌دهنده آنها ارتباط مستقیم دارد. هرچه کانیها درشت‌تر و بی‌شکلت‌تر باشند، میزان قابلیت نفوذپذیری آنها زیادتر خواهد بود. بنابراین، میزان مقاومت آنها به میزان نفوذپذیری سنگها بستگی خواهد داشت. این موضوع به میزان و حجم فضاهاى خالی بستگی دارد که ارتباط منافذ داخلی با هوا را فراهم می‌آورند.

یکی دیگر از ویژگیهای فیزیکی سنگها، که درعین‌حال مهمترین نقطه‌ضعف آنها، بویژه در سنگهای سخت و مقاوم و یکپارچه است. درزها و ترکهایی است که منشأهای متفاوتی دارند. گروهی از این درزها بسیار ریز و فقط در مقیاس بلورها توسعه می‌یابند و تنها به کمک میکروسکوب قابل رؤیت‌اند. این نوع درزها ممکن است از چگونگی شرایط تبلور حاصل شوند. یعنی نتیجه نقص تشکیل بلورها باشند. گاهی خود بلورها ساختمانی ورقه‌ای دارند و به‌صورت سطوحی موازی ظاهر می‌شوند. این حالت سنگها را به انحلال حساس می‌کند (میکا). بعضی از درزها بسیار ریزند. حاصل حرکات ساخت‌زایی (تکتوژنز)^۱ است. بلورهای کوارتز به این فشارها بسیار حساس‌اند. در سکوهاى بلورین کوارتز گرانیت‌های قدیمی (گرانیت اناتکسی)^۲، در اثنای حرکات متعدد کوهزایی خرد می‌شوند و نسبت به کوارتز با تولیت‌های جوان گرانیتی بعد از زمین ساخت، پردرزترند.

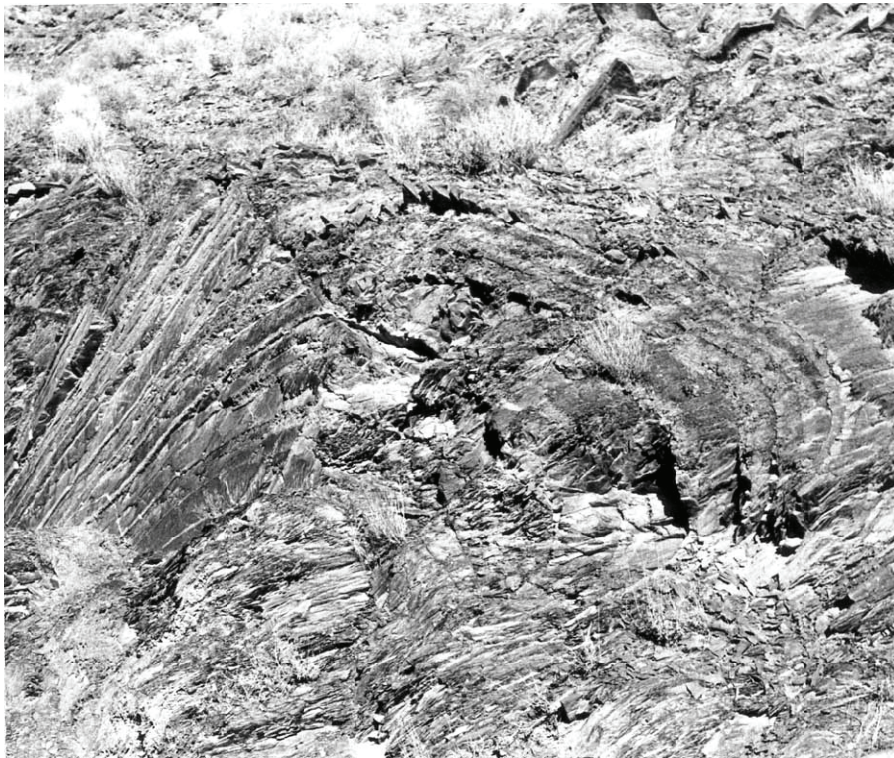
گروه دیگری از درزها در رخنمونهای سنگی مشاهده می‌شوند که غالباً بعد از پدیده سنگزایی (لیتوژنز)^۳ به‌وجود می‌آیند و با چشم غیرمسلح قابل رؤیت‌اند. این نوع درزها منشأهای متفاوتی دارند. در مجموعه سنگهای رسوبی غالباً این درزها منطبق بر شکافهای چین‌بندی‌اند. این سطوح چین‌بندی، سنگهای یکپارچه را به‌صورت واحدهای نازک یا ضخیمی از یکدیگر متمایز می‌سازند (عکس ۱-۱).

درزهای دیگری وجود دارند که پس از یک دگرگونی ملایم در سنگهای متورق توسعه می‌یابند. (عکس ۱-۲) اما چنانچه دگرگونی شدید باشد، حالت تورق به‌کلی

1. tectogenése

۲. anatexis، گرانیتی که با سنگهای رسوبی و دگرگونی درهم آمیخته و سنگهای میگماتی‌تی را به‌وجود می‌آورد و غالباً پُر از درز و ترک است.

۳. lithogenése، تشکیل سنگها به ویژه سنگهای رسوبی.



عکس ۱-۱ چین خوردگی در فلیشهای اتوسن: تنگ سرحه (بلوچستان) دی ماه ۱۳۵۳.

از میان می‌رود (سنگهای گنیسی).

حرکات زمین ساخت منشأ گروهی دیگر از درزهاست. سطح این نوع درزها غالباً عمود بر امتداد نیروهای زمین‌ساختی است. اما چنانچه میزان نیرو در طول زمان افزایش یابد، درزها در تمام جهات توسعه می‌یابند (عکس ۱-۲). در سنگهای آتشفشانی، دراثنای سردشدن گدازه‌ها، شبکه‌ای از درزها به وجود می‌آیند که اصطلاحاً درزهای انقباضی نامیده می‌شوند. می‌دانیم که هنگام سردشدن گدازه‌ها از حجم آنها کاسته می‌شود و، چون به علت سخت شدن سنگ، امکان جابه‌جایی کانیها وجود ندارد، نیروی کششی داخل گدازه سبب می‌شود که اتصال مولکولی کانیها در نقاط ضعیف‌تر از هم بگسلد و بدین ترتیب ترکها و درزهای انقباضی



عکس ۱-۲ جدار پر از درز یک کوهستان در شیستهای دگرگونی در ساوا فرانسه
(اقتباس از ژ. ویرسن ۱۹۶۷)

به وجود آیند. مشخص ترین چهره این نوع درزها به صورت ایجاد منشورهای بازالتی در طبیعت مشاهده می شوند (دامنه شرقی دماوند، مسلط به دره هراز، منشورهای بازالتی آتشفشان تندورک در شمال غربی ماکو و ...). (عکس ۱-۳). مشابه همین درزها در سایر سنگهای آذرین یا رسوبی که در زیر سطح پوسته جامد قرار دارند به وجود می آیند که درزهای برگشتی نام دارند. بدین ترتیب که هر واحد سنگی هنگام تشکیل در سطح زمین، ضخامت مشخصی دارد. در طول زمان واحدهای سنگی جدیدتری بر روی آن به وجود می آیند. بر اثر وزن این واحدهای جدید، لایه های زیرین و قدیمی تر فشرده شده و از ضخامت آنها کاسته می شود. میزان کاهش ضخامت به ویژگی فیزیکی سنگ (اندازه و شکل کانیهای تشکیل دهنده سنگ و ...) و وزن طبقه یا طبقات فوقانی آن بستگی دارد. حال، چنانچه بر اثر فرسایش سنگهای فوقانی از بین بروند، فشار حاصل از وزن آنها نیز حذف می شود و ضخامت آن لایه به سوی حالت اولیه گرایش می یابد. در این صورت، افزایش ضخامت به صورت درزهای متعدد در سنگ ظاهر می شود. این شکافها سنگها را به شکل قطعات مکعب شکل یا ورقه های نازک، متناسب با شبکه درزها، تقسیم می کنند.

نفوذپذیری سنگها، نتیجه میزان تراکم حفره ها یا درجه شکافدار بودن آنهاست. میزان تأثیر پدیده هوازدگی و تخریب بستگی به ویژگیهای یاد شده دارد. این ویژگیها باعث می شوند که، پس از متلاشی شدن سنگها، برداشت از سنگهای سخت و یکپارچه



عکس ۳-۱ منشورهای بازالتی در دره قره‌سوی اواجق در ناحیه ماکوکه به‌شدت تحت تأثیر تخریب مکانیکی قرار گرفته‌اند.

سرعت پیدا کند.

ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی سنگها نیز از لحاظ هوازدگی و تخریب در مرحله دوم قرار دارد. این ویژگی میزان حساسیت سنگها را در برابر حملات فیزیکی و شیمیایی و بیوشیمیایی مشخص می‌سازد. درصد کانیهای پایدار و ناپایدار نیز نقشی اساسی به‌عهده دارد. پایدارترین کانی کوارتز است، که شکل متبلور سیلیس است و به‌فراوانی در طبیعت انتشار دارد. پس از آن کانیهایی جای دارند که از نمکهای قابل حل تشکیل شده‌اند. کلرورها (هالیت)^۱ و سولفاتها (ژیپس و انیدریت) و کانیهای آهن‌دار و منیزیم‌دار، مانند میکای سیاه، در برابر فرسایش بسیار آسیب‌پذیرند. سنگهای اسیدی (گرانیت)، که سیلیس فراوانی دارند، نیز در برابر فرسایش از سنگهای بازی

1. halite

(بازالت - گابرو) مقاوم‌ترند. سنگ کوارتزی که از دانه‌های ریز کوارتز تشکیل شده که با خمیر سیلیسی محکمی به هم چسبیده‌اند در برابر اعمال جوئی بسیار مقاومند. باتوجه به مسائل فوق درمی‌یابیم که ممکن است تحمل سنگها در برابر فرسایش بسیار متفاوت باشد.

۱-۲ اعمال مکانیکی هوازدگی و تخریب

اصولاً هوازدگی و تخریب عمل مکانیکی است. اعمال مکانیکی بدون اینکه تغییرات محسوسی در جنس سنگها ایجاد کنند، سبب گسیختگیهای ساده و متلاشی شدن آنها می‌شوند. این اعمال، برحسب کیفیت کانیهای تشکیل‌دهنده سنگها، به عناصر معمولاً گوشه‌دار و مختلف‌اندازه تقسیم می‌شوند. نقاطضعفی مانند درزها و ترکها و حالت تورق و فضاهاى خالی بین دانه‌ها، که قبلاً به آنها اشاره شده، متلاشی شدن سنگها را تسهیل می‌کنند. سنگها از لحاظ ویژگی عوامل تخریب و هوازدگی، به دو صورت متلاشی شدن از منشأ حرارت و متلاشی شدن از منشأ آب تخریب می‌شوند.

الف) متلاشی شدن حرارتی

محرک اصلی در ایجاد این پدیده تغییرات درجه حرارت است. تغییرات درجه حرارت ممکن است به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، در حالت یخ بستن آب، در سنگها تأثیر کند. در حالت اول، پدیده را ترموکلاستی یا متلاشی شدن بر اثر حرارت می‌نامند و حالت دوم را کریوکلاستی یا ژلی فراکسیون^۱، یعنی متلاشی شدن بر اثر یخبندان، می‌گویند.

هنگامی که سنگها تحت تأثیر تغییرات حرارتی قرار می‌گیرند، به علت کشش حاصل از انبساط و انقباض، تکه تکه می‌شوند. چنانچه نوسان حداقل و حداکثر حرارت و تکرار این شرایط در سنگها به اندازه کافی برسد، گسیختگی در سنگ حاصل می‌شود. رنگ و بافت و ساختمان (نظم و ترتیب جایگزینی دانه‌ها) و جنس سنگها در نحوه عملکرد این پدیده دخالت دارند. زیرا ظرفیت جذب حرارت و قابلیت انتقال آن

1. gelifraction

به عوامل فوق بستگی دارند. چگونگی دخالت و عملکرد این عوامل در مثال زیر روشن می شود.

در سنگ آهکهای همجنس و ریزدانه و فشرده نفوذ حرارت تقریباً یکسان است و جریان حرارت، از لحاظ مدت و شدت، تا ضخامت مشخصی از سنگ نفوذ می کند. بین قسمت سطحی سنگ، که بر اثر نفوذ حرارت افزایش حجم یافته، و قسمت داخلی، که بدون تغییر باقی مانده است، حالت کششی به وجود می آید. بنابراین، در امتداد سطح میانی این قسمت گسیختگی اتفاق می افتد. این نوع متلاشی شدن به صورت تیغه های سنگی، حداکثر با ضخامت دسی متری، پدیده تورق^۱ نامیده می شود (عکس ۱-۴).



عکس ۱-۴ پوسته شدگی به موازات سطح خارجی در توده سنگ گرانیتی (نیویورک)
منبع: صداقت، سال ۱۳۵۸

اما اگر این پدیده در سنگهایی اتفاق افتد که دانه های آن مختلف الجنس و مختلف الاندازه باشند (گرانیت)^۲، به دلیل اختلاف دامنه تغییرات حجمی از یک کانی به کانی دیگر، کشش در محل برخورد بلورهای مختلف الجنس قرار می گیرد و نهایتاً بخش سطحی سنگ به صورت دانه های مختلف اندازه (آرن) از هم جدا می شوند. این پدیده را متلاشی شدن دانه ای^۳ می نامند (عکس ۱-۵).

1. exfoliation

۲. سنگ گرانیت از کانیهای کوارتز و فلدسپات و میکا (سیاه و سفید) تشکیل شده است.

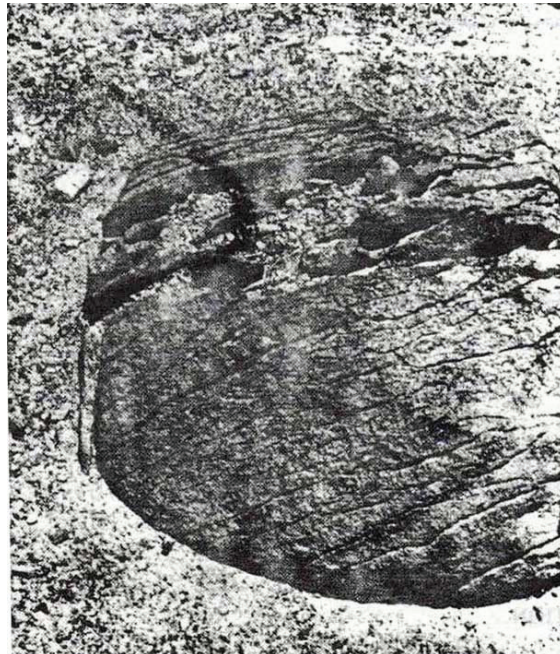
3. desagregation - granulaire



عکس ۱-۵ تخریب دانه‌ای در سنگهای آذرین (ولنجک - توچال)

بعضی از پیکرشناسان زمین این پدیده را در آزمایشگاه مطالعه کرده‌اند، اما نتایج دقیقی به دست نیاورده‌اند. بنابراین، این نوع متلاشی شدن‌ها را رد می‌کنند. اما باید توجه داشت که شرایطی که در آزمایشگاه‌ها ایجاد می‌شوند با شرایط حاکم بر طبیعت یکی نیستند. چنانکه در بسیاری از نواحی دنیا، بویژه در قلمروهای گرم و خشک، آثار این پدیده به فراوانی یافت می‌شوند. بنابراین، باید متلاشی شدن بر اثر حرارت را فقط در مناطقی پذیرفت که دامنه حرارت روزانه نیرومندی دارند (دشت لوت در ایران و سایر بیابانهای گرم مناطق حاره) (عکس ۱-۶).

مورد دوم، متلاشی شدن سنگها بر اثر یخبندان و ذوب یخ است، که در همه جا کاملاً پذیرفته شده است. می‌دانیم که تقریباً تمام سنگهایی که بخشی از آنها در سطح زمین ظاهر شده است، دارای درزها و ترکها و یا حفره‌های کوچک و بزرگ متعدّدند. هنگام بارندگی، متناسب با حجم این درزها و حفره‌ها، همیشه مقداری آب به سهولت به داخل سنگها نفوذ می‌کند. چنانچه بارندگی نسبتاً شدید یا مداوم باشد، اغلب حجم این حفره‌ها از آب اشباع می‌شود. در صورتی که حرارت هوا به پایین‌تر از صفر درجه برسد، متناسب با شدت و مدت سرما، آبهای نفوذی موجود در سنگها یخ می‌زند. گذر آب نفوذی از حالت مایع به جامد با افزایش حجمی در حدود ۱۰ درصد همراه است.



عکس ۱-۶ متلاشی شدن قطعه ریولیت در تاکنای پرو. منبع: تریکا، ۱۹۷۷

چنانچه شکل داخلی درزها و حفره‌ها و ترتیب قرار گرفتن آنها امکان خروج آب را میسر نسازند، یخ بستن آب به‌طور متوسط فشاری معادل ۱۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع بر جدار حفره‌ها وارد می‌آورد.^۱ در این شرایط تکرار دوره‌های یخبندان و ذوب یخ متلاشی شدن قطعات یا کانیهای تشکیل‌دهنده سنگ را به دنبال دارد (شکل ۱-۱).

مسلماً میزان یخزدگی سنگها به نسبت تخلخل و اندازه شکافهای موجود در آنها بستگی دارد و سایر خصوصیات فیزیکی مانند: بافت و ساختمان سنگها، در چگونگی متلاشی شدن آنها دخالت دارد. مثالهای زیر چگونگی عملکرد این پدیده را روشنتر نشان می‌دهد. در سنگهای متخلخل و پر از درز، این نوع متلاشی شدن به‌صورت دانه‌های ریز لیمون ظاهر می‌شود و اصطلاحاً آن را میکروژلی فراکسیون^۲ می‌نامند.

۱. در کتابهای مختلف ارقام متفاوتی در این مورد ذکر شده است. علت آن اختلاف مقاومت سنگهای مورد مطالعه و شکل و حجم درزها و نهایتاً طول مدت آزمایش و شدت سرماست. هدف غایی نشان دادن اثر این پدیده در متلاشی شدن سنگهاست که همه بر آن توافق دارند.

2. microgelifraction