

فصل دوم

انواع فرسایش آبی

اهداف 

در پایان فصل، دانشجو با مفاهیم زیر آشنا می‌شود:

۱. تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس عوامل فرسایشی
۲. تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس تأثیر طبیعت و دخالت انسان
۳. عوامل مؤثر بر فرسایش آبی
۴. انواع فرسایش آبی

۲-۱) تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس عوامل فرسایشی

همان‌طوری که در فصل قبل نیز گفته شد، در فرآیند فرسایش، ذرات خاک، توسط عوامل فرساینده از بستر اصلی خود جدا می‌شوند و توسط یکی از عوامل انتقال‌دهنده به مکان دیگری حمل می‌گردند و در نهایت، در مکان جدیدی رسوب می‌کنند. در طبیعت، دو عامل اصلی انتقال‌دهنده‌ی ذرات خاک، آب و باد هستند. چنانچه عامل انتقال‌دهنده‌ی ذرات آب باشد، به فرسایش حاصله، "فرسایش آبی"^۱ گفته می‌شود و در صورتی که عامل انتقال باد باشد، "فرسایش بادی"^۲ نامیده می‌شود.

در این فصل، انواع فرسایش آبی، شرح داده می‌شوند.

1- Water erosion
2- Wind erosion

۲-۲) تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس تأثیر طبیعت و دخالت

انسان

فرسایش از آغاز پیدایش کره‌ی زمین و قبل از پیدایش بشر اتفاق می‌افتاده است؛ ولی از وقتی که انسان زمین‌ها را مورد کشت‌وکار و بهره‌برداری بی‌رویه و غیراصولی قرار داده است، موجب برهم زدن تعادل طبیعت (تشکیل خاک به مقدار کم و فرسایش خاک به مقدار زیاد) و در نتیجه، باعث فرسایش شدید خاک شده و در بسیاری از نقاط، آن را به ویرانی کشانیده است. بنابراین، فرسایش را از این نظر می‌توان به دو گروه مختلف تقسیم نمود:

الف) فرسایش طبیعی^۱

ب) فرسایش تشدیدشونده^۲

۲-۲-۱) فرسایش طبیعی

فرسایش طبیعی که "فرسایش عادی"^۳ هم نامیده می‌شود، پیوسته در طبیعت به‌وسیله‌ی آب و باد صورت می‌گیرد. این فرسایش، حاصل تأثیر نیروی ثقل، سرازیری دامنه‌ها، جریان آب سطحی در روی زمین، وجود نهرها، رودها، یخچال‌ها و غیره می‌باشد. سرعت این نوع فرسایش، به‌طور عمده، کند و هماهنگ با سرعت تشکیل خاک است.

۲-۲-۲) فرسایش تشدیدشونده

فرسایش تشدیدشونده، نتیجه‌ی تأثیر فعالیت‌های غلط انسان است که به موجب آن، خاک توسط آب یا باد با شدتی بیشتر از حد طبیعی، فرسایش می‌یابد و از حاصلخیزی آن کاسته می‌شود. امروزه وقتی صحبت از فرسایش و راه‌های مبارزه با آن می‌شود، منظور، فرسایش ناشی از دخالت غلط و عدم مدیریت صحیح انسان است. فرسایش تشدیدشونده، زمانی اتفاق می‌افتد که پوشش گیاهی از بین برود؛ فضای بین گیاهان افزایش یابد؛ سطح خاک در معرض عوامل انتقال (آب و باد) قرار گیرد؛ ساختمان خاک به‌واسطه‌ی اختلال زیاد و کاهش ورود مواد مغذی تخریب شود و در نهایت، خاک توانایی خود را در برابر عوامل انتقال از دست بدهد. از بین رفتن

1- Natural erosion

2- Accelerated erosion

3- Normal erosion

ساختمان خاک باعث تراکم خاک و افزایش حجم روان آب می شود و در نتیجه، فرسایش خاک تشدید می گردد. البته حالت های استثنایی و نادری هم وجود دارند که دخالت بشر، موجب کاهش فرسایش طبیعی می گردد. به عنوان مثال، وقتی که صحراها احیا می شوند، نواحی خشک به وسیله ی آبیاری معتدل می گردند و یا جنگل ها ایجاد می شوند؛ اما این نوع فعالیت ها در مقایسه با کارهایی که انسان در راستای افزایش فرسایش انجام داده است، بسیار ناچیز هستند.

۲-۳ عوامل مؤثر بر فرسایش آبی

در این فصل با تفصیل بیشتری به عوامل مؤثر بر فرسایش آبی پرداخته می شود و در فصل سوم، مدل سازی فرآیند فرسایش، مورد بحث قرار می گیرد. در واقع، شناخت این عوامل برای کنترل فرسایش آبی ضرورت دارد که به همین دلیل، در ادامه ی مطالب کتاب، مهم ترین این عوامل تشریح شده اند.

۲-۳-۱ بارندگی

مهم ترین ویژگی های بارندگی که از نظر فرسایش پذیری، حایز اهمیت هستند؛ مقدار بارندگی، جرم قطره ها، اندازه یا قطر ذرات، جهت ریزش قطره ها، شدت بارندگی و فصل بارش می باشند. حداکثر قطر ظاهری قطره ها، بین پنج تا شش میلی متر است. سرعت قطره های باران نیز به اندازه ی قطر آن ها بستگی دارد. سرعت در حد فاصل قطره ی باران در حال سقوط آزاد، تا هنگامی که این نیرو با نیروی مقاومت اصطکاک هوا برابر گردد، افزایش می یابد. در این موقع، قطره با سرعت نهایی خود سقوط خواهد کرد. بارندگی زیاد در صورتی که ریزش آن آرام باشد، فرسایش زیادی ایجاد نمی کند. این در حالی است که باران های شدید، حتی به مقدار کم، موجب فرسایش زیاد می شوند؛ زیرا با افزایش شدت، قطر ذرات بیشتر می شود و انرژی جنبشی آن ها زیادتر می گردد. لازم به ذکر است که چگونگی محاسبه ی انرژی جنبشی باران در فصل سوم بحث شده است.

۲-۳-۲ شیب زمین

شیب زیاد باعث تسریع جریان آب می شود و به همان نسبت، میزان فرسایش و هدر رفتن آب، افزایش پیدا می کند. طول دامنه نیز اهمیت دارد؛ چون هر قدر دامنه ی شیب، طول

حفاظت آب و خاک تکمیلی/۲۰

بیشتری داشته باشد، بر مقدار سیلاب و فرسایش حاصله افزوده خواهد شد. شکل و دامنه‌ی جهت شیب نیز در این ارتباط مهم هستند. در شیب‌های محدب، مقدار فرسایش، حداکثر می‌باشد؛ در حالی که شیب‌های مقعر، کمترین مقدار فرسایش را ایجاد می‌کنند. در شرایط مساوی، دامنه‌های آفتاب‌گیر (به‌عنوان مثال، در نیم‌کره‌ی شمالی، شیب‌های جنوبی و غربی)، فرسایش بیشتری از دامنه‌های سایه‌گیر (به‌عنوان مثال، در نیم‌کره‌ی شمالی، شیب‌های شمالی و شرقی) دارند؛ زیرا به‌علت گرم‌تر بودن، زودتر خشک می‌شوند و در نتیجه، پوشش گیاهی کمتری دارند.

۲-۳-۳ پوشش گیاهی

به‌طور کلی، وجود پوشش گیاهی، فرسایش را کاهش می‌دهد. با از بین رفتن پوشش گیاهی، باران‌هایی که بر سطح خاک لخت می‌بارند، علاوه‌بر شستن خاک و تبدیل شدن به روان‌آب، فرصت نفوذ به داخل زمین را از دست می‌دهند. البته نوع پوشش، ارتفاع، تراکم و فصل رشد گیاهان، نقش مهمی در میزان جلوگیری آن‌ها از فرسایش دارد. در مناطقی که گیاهان، پوشش کافی فراهم نکنند و قسمتی از خاک را برهنه‌گذارند، فرسایش خاک، بیشتر از مناطقی است که از پوشش کاملی برخوردار می‌باشند. گیاهانی مانند جو و گندم، پوشش نسبتاً کافی برای خاک فراهم می‌کنند. در فصل رشد گیاهان که پوشش گیاهی انبوه است، بارندگی اثر فرسایشی کمتری دارد.

۲-۳-۴ خاک

هر خاکی با خصوصیات معین، دارای شدت فرسایش مشخصی است. مقاومت خاک در برابر جداشدن و انتقال ذرات، به "فرسایش‌پذیری خاک"^۱ معروف است و آن را با K نشان می‌دهند (بریان، ۲۰۰۰). به‌عنوان مثال، خاک‌های رسی و یا ماسه‌ای، فرسایش‌پذیری کمتری نسبت به خاک‌های سیلتی‌لومی دارند. خاک‌های همراه با مواد آلی، در برابر فرسایش مقاوم‌تر هستند؛ زیرا نفوذپذیری آن‌ها به‌دلیل ساختمان مناسب، افزایش می‌یابد و در نتیجه، میزان روان‌آب را کاهش می‌دهد. از مهم‌ترین خصوصیت‌های فیزیکی خاک مؤثر در میزان فرسایش، قابلیت نفوذ خاک و ثبات ساختمانی خاک می‌باشند. قابلیت نفوذ خاک به عواملی مانند ثبات ساختمانی،

1- Soil erodibility

بافت، نوع رس، عمق خاک و وجود لایه‌های غیر قابل نفوذ بستگی دارد. ثبات ساختمانی ذرات خاک سبب می‌شود که برخلاف هرزروی سطحی آب، فرسایش زیادی صورت نگیرد. در بین ذرات خاک، سیلت از فرسایش‌پذیری بیشتری برخوردار است؛ زیرا رس به دلیل چسبندگی و شن به خاطر اندازه‌ی بزرگ‌تر، مقاومت بیشتری نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که چگونگی اندازه‌گیری فرسایش‌پذیری خاک در فصل سوم بحث شده است.

۲-۳-۵) نقش انسان

یکی از عواملی که در ایجاد فرسایش آبی یا کنترل آن نقش مهمی دارد، انسان است. متأسفانه در اکثر موارد، با بهره‌برداری بی‌رویه و غلط از منابع خاک، آب و پوشش گیاهی، نقش انسان تخریب‌کننده بوده است. فعالیت‌هایی مانند از بین بردن پوشش گیاهی، چرای مفرط، قطع درختان، شخم در جهت شیب در اراضی شیب‌دار (برای افزایش سطح اراضی تحت کشت دیم) و احداث جاده‌های غیر اصولی، از مهم‌ترین عوامل افزایش فرسایش توسط انسان محسوب می‌شوند.

۲-۴) انواع فرسایش آبی

بسته به شدت فرسایش، شکل‌های مختلفی از فرسایش ایجاد می‌شوند. البته بایستی در نظر داشت که در یک منطقه، ممکن است انواعی از فرسایش به‌طور همزمان دیده شوند. در ادامه‌ی مطالب، به مهم‌ترین انواع فرسایش آبی پرداخته می‌شود.

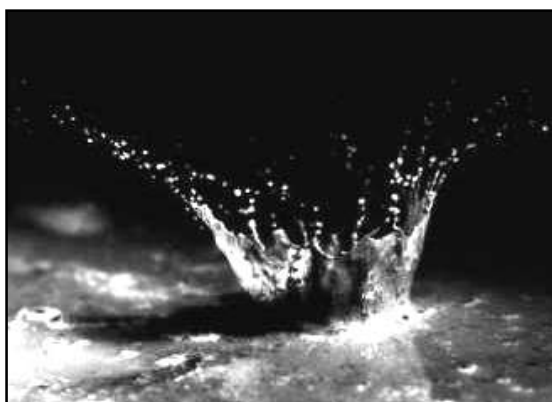
۲-۴-۱) فرسایش بارانی (پاشمانی یا پرتابی)^۱

فرسایش بارانی در اثر برخورد قطره‌های باران به سطح خاک ایجاد می‌گردد (شکل ۲-۱). قطره‌های باران پس از برخورد با خاک خشک، قسمتی از خاکدانه‌ها را خرد می‌کنند و به ذرات ریز تبدیل می‌کنند و خود جذب خاک می‌گردند. با ادامه‌ی بارندگی، خاک به تدریج مرطوب می‌شود. در این حالت، قطره‌های باران پس از برخورد با خاک مرطوب، از یک طرف باعث فشرده‌شدن خاک می‌گردند و از طرف دیگر، به‌صورت ذراتی به‌طور مایل به هوا پرتاب می‌شوند

1- Rain or splash erosion

حفاظت آب و خاک تکمیلی/۲۲

و ضمن پرتاب، مقداری از ذرات متلاشی شده ی قبلی را نیز به هوا پرتاب می کنند. به طور معمول، سرعت حرکت این ذرات، حدود دو برابر سرعت قطره های باران است. خیس شدن خاک در اثر ادامه ی بارندگی، سبب کم شدن نیروی برشی خاک و کاهش چسبندگی بین ذرات خاک می شود و به متلاشی شدن ذرات در اثر باران کمک می کند.



شکل (۱-۲): فرسایش بارانی ناشی از برخورد قطره های باران به سطح خاک

۲-۴-۲) فرسایش سطحی یا ورقه ای^۱

این فرسایش، در تمام سطح زمین تأثیرگذار می باشد و به همین علت، کمتر محسوس است. این نوع تخریب در اثر آبدوی (روان آب یا هرز آب) حاصل از باران یا ذوب برف ایجاد می شود و ذراتی که پیش از این توسط عواملی مانند ضربه ی قطره های باران جدا شده اند، حمل می گردند. فرسایش ورقه ای را می توان با مشاهده ی گل آلودگی آبی که از مزارع کشاورزی خارج می شود، تشخیص داد (شکل ۲-۲). در حالت شدید، ظهور لکه های سفید و روشن در سطح خاک، بیانگر عدم یکنواختی عمق خاک و هدررفت افق سطحی در قسمت های روشن تر است؛ زیرا قسمت رویی خاک، به علت دارا بودن مواد آلی، غالباً تیره رنگ می باشد. عدم یکنواختی رشد گیاهان (نقاط کچلی^۲)، وجود سنگ ریزه ی زیاد در سطح خاک و ایجاد سنگ فرش بیابانی^۱،

1- Surface or sheet erosion

2- Slick spots

نشانه‌هایی از فرسایش سطحی هستند. با توجه به اینکه در این نوع فرسایش، لایه‌ی سطحی خاک از بین می‌رود، درصد زیادی از مواد غذایی و مواد آلی خاک از بین می‌روند و در نتیجه، حاصلخیزی خاک به شدت کاهش می‌یابد.



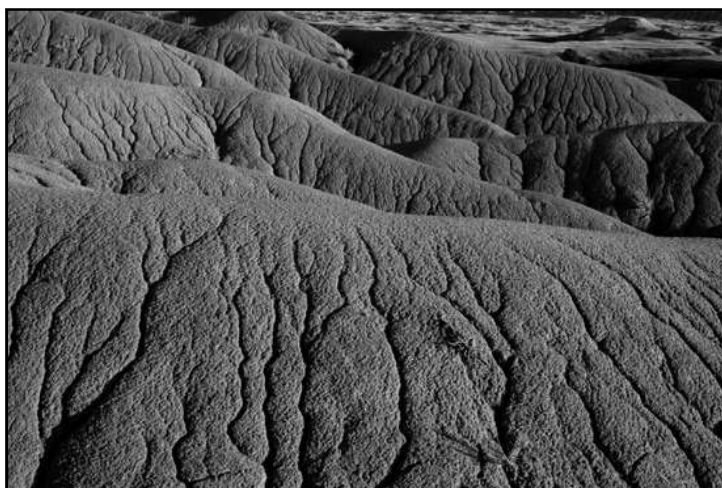
شکل (۲-۲): آب گل‌آلود حاصل از فرسایش سطحی در اراضی کشاورزی

۲-۴-۳ فرسایش شیاری^۲

در ایجاد این فرسایش، شیب زمین بسیار مؤثر می‌باشد. فرسایش شیاری، در دامنه‌های کوه و حتی در سطح زمین‌های کم‌شیب دیده می‌شود (شکل ۲-۳). این نوع فرسایش، پیشرفته‌تر از فرسایش سطحی می‌باشد و ممکن است که به صورت یک سری خطوط موازی ظاهر شود که ابتدا کم‌عمق هستند، ولی به سرعت عمیق‌تر می‌شوند. فرسایش شیاری و شکل پیشرفته‌تر آن (که فرسایش آبراهه‌ای^۳ نامیده می‌شود)، زمانی اتفاق می‌افتند که روان‌آب متمرکز شده، کانال‌هایی را در دل خاک ایجاد کند.

1- Desert pavement
2- Rill erosion
3- Channel erosion

به طور معمول، در خاک‌های زراعی، این فرسایش در داخل شیارهای حاصل از شخم به وجود می‌آید. در اراضی شیب‌دار (مانند اراضی کشت دیم)، به خصوص اگر شخم در جهت شیب باشد، فرسایش شیار به آسانی شکل می‌گیرد که این وضعیت، در خاک‌هایی که فرسایش‌پذیری آنها زیاد است (مانند خاک‌های با بافت سیلتی و خاک‌هایی با مواد مادری شیل و مارن)، با شدت بیشتری دیده می‌شود. در این نوع فرسایش، به طور معمول، در اثر عملیات خاک‌ورزی در اراضی کشاورزی، شیارها محو می‌شوند.



شکل (۲-۳): نمونه‌ای از فرسایش شیار

۲-۴-۴) فرسایش بین شیار^۱

فرسایش سطحی موجود در بین مناطق دارای فرسایش شیار، به فرسایش بین شیار معروف است. بنابراین، نوعی فرسایش سطحی محسوب می‌گردد. در این حالت، خاک سطحی فرسایش‌یافته به درون شیارها می‌ریزد و در نهایت، حمل می‌شود.

1- Inter-rill erosion

۲-۴-۵) فرسایش خندقی (گالی)^۱

در این فرسایش، عمق و عرض زمین‌های فرسایش‌یافته، بیشتر از فرسایش شیاری است و بر اثر پیشرفت فرسایش شیاری به‌وجود می‌آید؛ به این نحو که شیارها بهم می‌پیوندند و عمیق‌تر می‌شوند. در نتیجه، زمین بیشتر شسته می‌شود و خندق‌هایی در سطح زمین تشکیل می‌گردند (شکل ۲-۴). این نوع فرسایش در سازندهای مارنی و شیلی، بیشتر مشاهده می‌شود. به‌طور قراردادی، حد بالایی ابعاد شیارها را $\frac{1}{3}$ متر عرض و $\frac{2}{3}$ متر عمق در نظر گرفته‌اند. در صورتی که ابعاد شیارها از این مقادیر بیشتر باشد، به آن خندق می‌گویند (هاگت، ۲۰۰۳). فوستر (۱۹۸۲) علاوه بر اندازه، تعداد و تراکم را نیز برای تفاوت بین شیار و خندق در نظر می‌گیرد و معتقد است که فرسایش شیاری به‌صورت شیارهای متراکم با تعداد زیاد دیده می‌شود؛ ولی فرسایش خندقی به تعداد کم در واحد سطح ایجاد می‌گردد. مرز دیگری که برای جدانمودن فرسایش شیاری و خندقی در نظر گرفته شده است، امکان عملیات خاک‌ورزی و شخم در این دو نوع فرسایش می‌باشد؛ بدین معنی که اگر بتوان شیارها را با شخم از بین برد و زمین را تسطیح کرد، فرسایش شیاری محسوب می‌گردد و در غیر این‌صورت، فرسایش خندقی نامیده می‌شود. در نقاط مختلف دنیا خندق‌ها به نام‌های متفاوتی مشهور هستند که از آن جمله می‌توان دونگا^۲ یا رمپ^۳، به معنی "پلکان سراشیب" یا "سکوی شیب‌دار" اشاره نمود. با توسعه‌ی خندق‌ها و عریض‌تر شدن آن‌ها، آب علاوه بر خاک سطحی، خاک زیرین را نیز از جا می‌کند و با خود می‌برد. فرسایش خندقی، افزون بر ویرانی خاک زراعی، سبب وارد آمدن خسارت‌های زیادی به جاده‌ها می‌شود.

1- Gully erosion
2- Donga
3- Ramp



شکل (۲-۴): نمونه‌ای از یک فرسایش خندقی

۲-۴-۶) فرسایش هزار دره^۱

این فرسایش در مناطقی اتفاق می‌افتد که دارای نفوذپذیری کم باشند و جنس سازند آن‌ها، سست و بسیار حساس به فرسایش باشد. در فرسایش هزاردره، تعداد خندق‌ها، بیش از ۷۰ خندق در هر کیلومترمربع و یا طول آن‌ها، بیش از ۱۰ کیلومتر در هر کیلومترمربع زمین است (شکل ۲-۵).

1- Badland erosion



شکل (۲-۵): نمونه‌ای از فرسایش بدلند یا هزار دره

۲-۴-۷) فرسایش سیلابی^۱

این نوع فرسایش، زمانی اتفاق می‌افتد که به دنبال یک باران معمولی و اشباع شدن خاک، باران شدیدی ببارد. در این حالت، حجم زیادی از آب از قسمت‌های مرتفع به اراضی پایین‌دست سرازیر می‌شود و می‌تواند باعث شکسته شدن درختان و مدفون شدن آن‌ها و حتی تخریب و ویرانی مزارع گردد.

۲-۴-۸) فرسایش بالارونده (کنار رودخانه‌ای)^۲

فرسایش کناری یا رودخانه‌ای (کنار رودخانه‌ای)، به‌طور معمول در دیواره‌های آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و مسیل‌ها ایجاد می‌شود (شکل ۲-۶). در قسمت‌های خارجی خمیدگی رودخانه‌ها به این علت که نیروی برشی آب زیاد می‌باشد، فرسایش کناری بیشتر است (شکل ۲-۷). در این فرسایش، جریان آب موجب شسته شدن اطراف مسیر جریان آب و حمل مواد بیشتر با خود می‌گردد. با این عمل، دیواره‌های بستر، استحکام و قدرت خود را از دست می‌دهند و به تدریج در مواقع جاری شدن سیلاب‌های شدید، به‌طور ناگهانی ریزش می‌کنند.

1- Torrent erosion

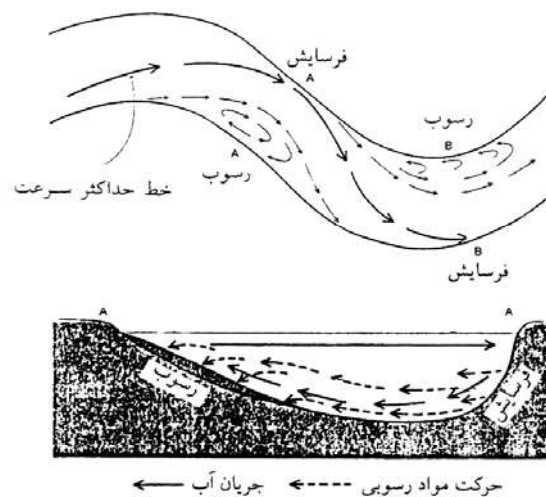
2- Stream-bank erosion

حفاظت آب و خاک تکمیلی/۲۸

شدت فرسایش رودخانه‌ای به عواملی از قبیل سرعت جریان آب، تلاطم جریان، قدرت چسبندگی و جرم مخصوص ذرات، چگونگی پراکنش ذرات خاک در آب، درجه‌ی زبری بستر رودخانه و موانع موجود در مسیر جریان بستگی دارد. با افزایش مواد خاکی در آب، جرم مخصوص آب بیشتر می‌شود و قدرت و نیروی درهم کوبنده‌ی آن زیادتر می‌گردد.



شکل (۲-۶): نمونه‌ای از فرسایش کنار رودخانه‌ای



شکل (۲-۷): فرسایش رودخانه‌ای و خصوصیات آن

۲-۴-۹) فرسایش توده‌ای (داخلی)^۱

در فرسایش توده‌ای، قسمتی از خاک دامنه‌ی کوه‌ها در اثر نیروی ثقل، به‌طرف پایین شیب به حرکت در می‌آید. این فرسایش، زمانی اتفاق می‌افتد که نیروی وزن خاک، بیشتر از مقاومت برشی خاک گردد. دلایل مختلفی می‌توانند باعث کاهش مقاومت (افزایش تنش) برشی خاک شوند. به‌عنوان مثال، قطع درختان، حذف پوشش گیاهی و چرای مفرط در اراضی شیب‌دار باعث می‌شوند که ریشه‌هایی که ذرات خاک را بهم متصل می‌کردند، از بین بروند. تقسیم‌بندی‌ها و اسامی مختلفی برای این نوع فرسایش ارایه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۲-۴-۹-۱) ریزش خاک^۲

این حالت در شیب‌های تند و یا در اراضی حاشیه‌ی رودخانه‌ها دیده می‌شود. اگرچه عامل اصلی حرکت، نیروی ثقل است؛ ولی جریان آب به ایجاد آن کمک می‌کند.

۲-۴-۹-۲) زمین‌لغزش^۳

زمین‌لغزش، به‌معنی لغزش توده‌های خاک و سنگ در اثر نیروی ثقل به سمت پایین‌دست است و به‌طور معمول در خاک‌های چسبنده و رسی اتفاق می‌افتد (شکل ۲-۸). گاهی سرعت لغزش، زیاد و محسوس است و با چشم دیده می‌شود. گاهی نیز لغزش به‌صورت کند و آرام اتفاق می‌افتد. وجود سه عامل برای زمین‌لغزش ضروری به‌نظر می‌رسند:

الف) وجود یک لایه‌ی نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری کم (مانند یک لایه‌ی رسی) در عمق خاک

ب) اشباع‌شدن لایه(های) سطحی در اثر وجود آب

پ) وجود شیب زیاد

1- Massive or internal erosion
2- Soil falling
3- Landslide

حفاظت آب و خاک تکمیلی/۳۰



شکل (۸-۲): نمونه‌ای از یک زمین لغزش در تایوان سال ۲۰۱۰

۲-۴-۹-۳) جریان گل^۱

به این نوع حرکت، "بهمن گل" نیز گفته می‌شود. در این حالت، خاک همراه با آب به صورت گل در می‌آید و به آرامی به سمت پایین شیب حرکت می‌کند (شکل ۹-۲). این حرکت، در مقایسه با ریزش و لغزش، تحت تأثیر حرکت بین ذرات یا جابجایی آن‌ها اتفاق می‌افتد. اهمیت این نوع فرسایش در مناطقی که اغلب اوقات یخ‌زده هستند، بیشتر است؛ زیرا در این مناطق در طول تابستان، یخ موجود در خاک ذوب می‌شود و گل ضخیمی را ایجاد می‌کند.



شکل (۹-۲): جریان گل در اثر ذوب شدن برف و یخ

1- Mud flow

۲-۴-۱۰) فرسایش تونلی (زیرزمینی)^۱

در این نوع فرسایش، خاک زیرین فرسایش می‌یابد و از بین می‌رود؛ ولی خاک رویی باقی می‌ماند. این فرسایش، زمانی اتفاق می‌افتد که لایه‌ی سطحی نفوذپذیر باشد و یک لایه‌ی حساس به فرسایش در زیر آن قرار گرفته باشد و در زیر این لایه‌ی حساس، یک لایه‌ی نفوذناپذیر یا لایه‌ای با نفوذپذیری کم واقع شده باشد. در این حالت، اگر آب وارد خاک گردد و به لایه‌ی نفوذناپذیر برسد، می‌تواند بر روی آن حرکت کند و اگر خروجی مناسبی داشته باشد، می‌تواند با خود، لایه‌ی میانی حساس را حمل کند و به مرور زمان، تونلی در داخل خاک ایجاد نماید (شکل ۲-۱۰).



شکل (۲-۱۰): نمونه‌ای از فرسایش تونلی

۲-۴-۱۱) فرسایش پاسنگی (ستونی)^۲

وقتی که قسمتی از یک خاک مستعد فرسایش، به وسیله‌ی سنگ‌های مسطح، از فرسایش بارانی محافظت می‌شود، خاک اطراف و بدون محافظ از بین می‌رود. در حالی که خاک زیر سنگ‌ها باقی می‌ماند. در نتیجه، پاسنگ‌های منفرد و مرتفعی نسبت به زمین‌های اطراف به

1- Tunnel or underground erosion

2- Pedestal or columnar erosion

حفاظت آب و خاک تکمیلی/۳۲

وجود می‌آیند (شکل ۱۱-۲). اهمیت این پاسبانها در این است که با مطالعه‌ی ارتفاع آنها می‌توان به‌طور تقریبی، عمق خاک از دست رفته را محاسبه کرد.



شکل (۱۱-۲): نمونه‌ای از فرسایش پاسبانی

۲-۴-۱۲) فرسایش حاصلخیزی^۱

این فرسایش که همان از دست رفتن مواد غذایی گیاهی به‌وسیله‌ی فرسایش است، می‌تواند با میزان برداشت این مواد به‌وسیله‌ی گیاهان زراعی برابری کند. نحوه‌ی از دست رفتن مواد غذایی، برای عناصر مختلف، متفاوت است. به‌طور معمول، فسفر همراه با ذرات کلوئیدی که بر روی آن جذب شده‌اند، از دست می‌رود؛ ولی نیتروژن به فرم‌های نیتريت و نیترات محلول، در روان‌آب حل می‌شود و از زمین خارج می‌گردد؛ بدون اینکه هیچگونه حرکت فیزیکی خاک صورت گرفته باشد.

۲-۴-۱۳) فرسایش عمودی (درونی)^۲

نوع دیگری از جابجایی فیزیکی، شسته‌شدن ذرات ریز (مانند ذرات رس) لایه‌های سطحی‌تر و تجمع آنها در لایه‌های زیرین است. این عمل، دارای دو اثر مخرب می‌باشد:

1- Fertility erosion

2- Vertical or inner erosion

الف) از دست رفتن مواد ریز از یک نقطه و افزایش این مواد در نقطه‌ای دیگر، که کاهش حاصلخیزی خاک را موجب می‌شود.

ب) تجمع مواد ریز کلونیدی می‌تواند لایه‌ای با نفوذپذیری کم در محل رشد ریشه‌ی گیاه ایجاد کند.

۲-۴-۱۴) فرسایش گِل‌خرابی^۱

این فرسایش، نوعی تخریب فیزیکی است که در آن، خاکی از دست داده نمی‌شود؛ بلکه متلاشی‌شدن ساختمان خاک به وسیله‌ی برخورد قطره‌های باران و شسته‌شدن ذرات ریز به داخل خلل و فرج اتفاق می‌افتد و منجر به ایجاد یک خاک بدون ساختمان با سطحی فشرده و سله‌بسته می‌شود که پیامد آن، کاهش حاصلخیزی خاک است.

۲-۴-۱۵) فرسایش ساحلی^۲

این نوع فرسایش، نوعی فرسایش طبیعی محسوب می‌شود که در اثر برخورد امواج دریا به دیواره‌ی ساحل به وجود می‌آید و موجب عقب‌نشینی تدریجی ساحل می‌گردد. در سواحل شنی و قله‌سنگی، شدت این فرسایش، بیشتر از سواحل سنگی است.

۲-۴-۱۶) فرسایش شیمیایی (شبه کارستی یا انحلالی)^۳

این نوع فرسایش در مواردی ایجاد می‌شود که سازندهای منطقه، حلالیت زیادی داشته باشند. در این حالت، آب می‌تواند این مواد را در خود حل کند و با خود حمل نماید. در مناطقی که سازندهای کارستی (آهکی)، گچی و یا نمکی وجود دارند، این فرسایش، قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۲-۱۲). وجود ساختار لانه‌زنبوری^۴ در سازندهای سنگ آهک^۵ که به دلیل حل شدن آن‌ها توسط دی‌اکسیدکربن صورت می‌گیرد نیز نوعی فرسایش انحلالی محسوب می‌شود.

-
- 1- Puddle erosion
 - 2- Coastal erosion
 - 3- Chemical (pseudo-karst or dissolution) erosion
 - 4- Vespiary structure
 - 5- Limestone



شکل (۲-۱۲): فرسایش انحلالی در سازندهای گچی- نمکی

۲-۴-۱۷) فرسایش مکانیکی (حاصل از شخم)^۱

این نوع فرسایش در اثر عملیات خاک‌ورزی در مناطق شیب‌دار اتفاق می‌افتد و باعث می‌شود که مقدار قابل توجهی خاک در اثر شخم، از اراضی بالادست به پایین حرکت کند و اگر آبراهه‌ای وجود داشته باشد، خاک راحت‌تر شسته می‌شود و در نهایت، در مرز دو مرزعه‌ی بالادست و پایین‌دست، اختلاف ارتفاع ایجاد می‌گردد.

1- Mechanical or tillage erosion