



حفاظت آب و خاک تکمیلی

دکتر محمدحسن صالحی
دکتر عیسیٰ اسفندیارپور بروجنی
دکتر رضا مهاجر
دکتر محسن باقری بُداغ آبادی

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک‌درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و کمک‌درسی (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

پیشگفتار.....نه

فصل اول: مفاهیم و تعاریف اولیه.....۱

۱-۱. مقدمه.....۱

۲-۱. تعریف فرسایش.....۳

۳-۱. عوامل مؤثر بر فرسایش.....۴

۱-۳-۱. عامل انرژی.....۴

۲-۳-۱. عامل مقاومت.....۶

۳-۳-۱. عامل حفاظت.....۷

۴-۱. اثرات فرسایش.....۹

۱-۴-۱. اثرات فرسایش در محل.....۹

۲-۴-۱. اثرات فرسایش در خارج از محل.....۱۰

۵-۱. حد قابل قبول فرسایش.....۱۲

۶-۱. مراحل مختلف فرسایش.....۱۴

۱-۶-۱. جدا شدن ذرات از توده‌های اصلی خاک.....۱۴

۲-۶-۱. انتقال ذرات جداشده.....۱۴

۳-۶-۱. تجمع و انباشته شدن مواد.....۱۴

۷-۱. مهم‌ترین مناطق مستعد فرسایش.....۱۵

۸-۱. خودآزمایی.....۱۷

فصل دوم: انواع فرسایش آبی.....۱۹

۱-۲. مقدمه‌ای بر فرسایش آبی.....۱۹

۲-۲. تقسیم‌بندی انواع فرسایش براساس عوامل فرسایشی.....۲۰

۳-۲. تقسیم‌بندی انواع فرسایش براساس تأثیر طبیعت و دخالت انسان.....۲۰

۱-۳-۲. فرسایش طبیعی.....۲۱

۲۱	۲-۳-۲. فرسایش تشدیدشونده.....
۲۱	۲-۴. عوامل مؤثر بر فرسایش آبی.....
۲۲	۲-۴-۱. بارندگی.....
۲۲	۲-۴-۲. شیب زمین.....
۲۳	۲-۴-۳. پوشش گیاهی.....
۲۳	۲-۴-۴. خاک.....
۲۴	۲-۴-۵. نقش انسان.....
۲۴	۲-۵. انواع فرسایش آبی.....
۲۴	۲-۵-۱. فرسایش بارانی (باشمائی یا پرتابی).....
۲۵	۲-۵-۲. فرسایش سطحی یا ورقه‌ای.....
۲۶	۲-۵-۳. فرسایش شیاری.....
۲۷	۲-۵-۴. فرسایش بین شیار.....
۲۷	۲-۵-۵. فرسایش خندقی (گالی).....
۲۹	۲-۵-۶. فرسایش هزار دره.....
۲۹	۲-۵-۷. فرسایش سیلابی.....
۲۹	۲-۵-۸. فرسایش بالارونده (کنار رودخانه‌ای).....
۳۱	۲-۵-۹. فرسایش توده‌ای (داخلی).....
۳۴	۲-۵-۱۰. فرسایش تونلی (زیرزمینی).....
۳۴	۲-۵-۱۱. فرسایش پاسنگی (ستونی).....
۳۵	۲-۵-۱۲. فرسایش حاصلخیزی.....
۳۵	۲-۵-۱۳. فرسایش عمودی (درونی).....
۳۶	۲-۵-۱۴. فرسایش گِلخراپی.....
۳۶	۲-۵-۱۵. فرسایش ساحلی.....
۳۶	۲-۵-۱۶. فرسایش شیمیایی (شبه‌کارستی یا انحلالی).....
۳۷	۲-۵-۱۷. فرسایش مکانیکی (حاصل از شخم).....
۳۸	۲-۶. خودآزمایی.....

۴۱	فصل سوم: مدل‌سازی فرآیند فرسایش خاک.....
۴۱	۳-۱. مقدمه.....
۴۲	۳-۲. تقسیم‌بندی مدل‌های فرسایشی.....
۴۲	۳-۲-۱. انواع مدل‌ها از دیدگاه فرآیند محاسباتی.....
۴۳	۳-۲-۲. انواع مدل‌ها از دیدگاه ساختار فرمولی.....
۴۶	۳-۲-۳. انواع مدل‌ها از دیدگاه ساختار مکانی.....
۴۶	۳-۲-۴. انواع مدل‌ها از دیدگاه پایه‌ی نظری (مفهومی).....
۴۷	۳-۳. انتخاب مدل‌ها برای استفاده در مطالعات.....
۴۸	۳-۴. مدل‌های فرسایش خاک.....
۴۸	۳-۴-۱. معادله‌ی جهانی فرسایش خاک (USLE).....
۷۳	۳-۴-۲. مدل جهانی تعدیل‌یافته‌ی هدررفت خاک (MUSLE).....
۷۵	۳-۴-۳. مدل جهانی اصلاح‌شده‌ی هدررفت خاک (RUSLE).....

۷۷.....	۴-۴-۳. مدل پسیاک (PSIAC).....
۸۰.....	۵-۴-۳. روش سازمان مدیریت اراضی آمریکا (BLM).....
۸۳.....	۶-۴-۳. مدل EPM.....
۹۰.....	۷-۴-۳. مدل WEPP.....
۹۲.....	۸-۴-۳. مدل ANSWERS.....
۹۴.....	۹-۴-۳. مدل EUROSEM.....
۱۰۰.....	۱۰-۴-۳. مدل SWAT.....
۱۰۶.....	۱۱-۴-۳. روش سزیم ۱۳۷.....
۱۰۹.....	۱۲-۴-۳. مدل GUEST.....
۱۱۰.....	۱۳-۴-۳. مدل LISEM.....
۱۱۰.....	۱۴-۴-۳. ارزیابی مدل‌های فرسایش.....
۱۱۲.....	۵-۳. خودآزمایی.....

فصل چهارم: حفاظت خاک..... ۱۱۵

۱۱۵.....	۱-۴. حفاظت خاک.....
۱۱۷.....	۱-۱-۴. حفاظت غیرمکانیکی.....
۱۳۷.....	۲-۱-۴. حفاظت مکانیکی.....
۱۴۹.....	۲-۴. مبارزه با فرسایش خندقی (گالی).....
۱۵۱.....	۱-۲-۴. انواع بند.....
۱۵۳.....	۲-۲-۴. محاسبات مربوط به بندها.....
۱۵۵.....	۳-۴. مبارزه با فرسایش کنار رودخانه‌ای (بالارونده).....
۱۵۶.....	۱-۳-۴. تثبیت کناره‌های رودخانه به روش مستقیم.....
۱۵۷.....	۲-۳-۴. تثبیت کناره‌های رودخانه به روش غیرمستقیم.....
۱۶۱.....	۴-۴. مبارزه با ریزش کناره‌ها و فرسایش توده‌ای.....
۱۶۳.....	۵-۴. خودآزمایی.....

فصل پنجم: فرسایش بادی..... ۱۶۵

۱۶۵.....	۱-۵. مقدمه.....
۱۶۶.....	۲-۵. اصول و علل ایجاد فرسایش بادی.....
۱۶۶.....	۱-۲-۵. ویژگی‌های خاک.....
۱۶۸.....	۲-۲-۵. پوشش گیاهی.....
۱۶۹.....	۳-۲-۵. پستی و بلندی (توپوگرافی).....
۱۶۹.....	۴-۲-۵. آب و هوا.....
۱۷۰.....	۳-۵. نحوه‌ی انتقال ذرات خاک.....
۱۷۱.....	۱-۳-۵. معلق.....
۱۷۱.....	۲-۳-۵. جهشی.....
۱۷۲.....	۳-۳-۵. خزشی.....
۱۷۲.....	۴-۵. نتایج حاصل از عملکرد باد.....
۱۷۳.....	۱-۴-۵. شکل‌های اراضی فرسایشی حاصل از باد.....

۱۷۴.....	۲-۴-۵. شکل های اراضی رسوبی حاصل از باد.....
۱۷۷.....	۵-۵. کنترل فرسایش بادی.....
۱۷۸.....	۱-۵-۵. استفاده ی صحیح از زمین.....
۱۷۸.....	۲-۵-۵. حفظ رطوبت خاک.....
۱۷۸.....	۳-۵-۵. استقرار پوشش گیاهی.....
۱۷۹.....	۴-۵-۵. استفاده از بقایای محصول.....
۱۷۹.....	۵-۵-۵. ایجاد زبری در سطح خاک.....
۱۸۰.....	۶-۵-۵. انجام شخم اضطراری.....
۱۸۰.....	۷-۵-۵. انجام کشت نواری.....
۱۸۱.....	۸-۵-۵. احداث بادشکن.....
۱۸۷.....	۹-۵-۵. استفاده از مالچ.....
۱۹۱.....	۶-۵. مدل سازی فرسایش بادی.....
۱۹۲.....	۷-۵. خودآزمایی.....
۱۹۵.....	کتابنامه.....

پیشگفتار

استفاده‌ی بیش از حد از منابع طبیعی، به واسطه‌ی افزایش سطح زیر کشت اراضی و نیز استفاده‌ی بیش از ظرفیت معمول آن‌ها (افزایش تولید در واحد سطح)، پیامدهایی از قبیل فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، تخریب اراضی، بیابان‌زایی و آلودگی آب و خاک را در پی داشته است.

کشور ایران که به‌طور عمده از شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بهره می‌گیرد، دارای اکوسیستمی ناپایدارتر و شکننده‌تر نسبت به مناطق مرطوب می‌باشد و اهمیت حفاظت از منابع آب و خاک در آن دوچندان است. برخلاف اهمیت این مسأله و نیز تلاش‌ها و پژوهش‌های انجام‌گرفته در بیش از نیم قرن گذشته، فرسایش خاک در کشور ایران، بسیار بیشتر از میانگین جهانی است.

پیشرفت علوم آب و خاک، همراه با گسترش علوم رایانه‌ای، باعث ایجاد مدل‌های مختلفی برای برآورد فرسایش شده است که نسبت به گذشته از دقت بالاتری برخوردار می‌باشند. در هر حال، حفاظت از منابع آب و خاک، موضوع بسیار مهمی است که پس از شناخت مناطق مستعد فرسایش و عوامل تشدیدکننده‌ی آن، بایستی مدنظر برنامه‌ریزان و مدیران قرار گیرد. اهمیت فرسایش خاک باعث شده است در رشته‌های مختلفی که با منابع طبیعی سروکار دارند، فرسایش و حفاظت آب و خاک، به‌عنوان یکی از دروس تخصصی مطرح گردد. کتاب‌های مختلفی نیز در ارتباط با فرسایش و حفاظت خاک در کشور به رشته‌ی تحریر درآمده‌اند و هر یک، جنبه‌های مختلف فرسایش را از دیدگاه‌های متفاوت، مدنظر قرار داده‌اند. لیکن، نویسندگان کتاب حاضر تلاش نموده‌اند کتابی به رشته‌ی تحریر درآورند تا با زبانی ساده، بتواند نیاز

دانشجویان رشته‌های کشاورزی و منابع طبیعی و نیز تمامی افرادی را که به‌نحوی با مسایل حفاظت آب و خاک، سروکار دارند در بخش‌های تئوری و عملی برآورده سازد. این کتاب، مشتمل بر پنج فصل است. فصل اول، به مفاهیم و کلیات فرسایش می‌پردازد و فصل دوم، انواع فرسایش آبی را تشریح نموده است. فصل سوم، فرآیند فرسایش را مدل‌سازی می‌کند و انواع مدل‌های معمول فرسایش را در قالب یک مثال کلی بحث می‌نماید. فصل چهارم، به روش‌های مختلف حفاظت خاک (مبارزه با فرسایش خاک) پرداخته است. فصل پنجم، ضمن بیان فرسایش بادی، روش‌های مختلف کنترل آن را بیان کرده است. در این کتاب، از مطالعات سایر پژوهش‌گران نیز استفاده شده است که با ذکر منبع، به آن‌ها اشاره گردیده است و علاقه‌مندان می‌توانند برای دریافت اطلاعات بیشتر، به منابع اصلی مراجعه نمایند.

در پایان، برخود لازم می‌دانیم که از داوران محترم، به‌خاطر بازخوانی کتاب و ارائه‌ی نظرات سازنده، تشکر و قدردانی نماییم. از سرکار خانم علی‌نژاد نیز که زحمت ویراستاری این اثر را به‌عهده داشته‌اند تشکر می‌کنیم. همچنین، پیشنهادها و انتقادهای تمامی عزیزانی که به هر نحو بتوانند ما را در بهبود کیفیت این کتاب برای چاپ‌های آتی یاری رسانند، مزید امتنان خواهد بود. لازم به ذکر است که نویسندگان، سهم یکسانی در تألیف کتاب حاضر بر عهده داشته و توافق نموده‌اند که به‌طور مساوی از مزایای مادی و معنوی آن برخوردار گردند.

محمدحسن صالحی

دانشیار دانشکده خاک‌شناسی دانشگاه کشاورزی دانشگاه شهرکرد

عیسی اسفندیارپور بروجنی

دانشیار گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر رفسنجان

رضا مهاجر

استادیار گروه علوم کشاورزی دانشگاه پیام‌نور مرکز شهرکرد

محسن باقری بُداغ‌آبادی

فارغ‌التحصیل گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

بهار ۱۳۹۳

فصل اول

مفاهیم و تعاریف اولیه

اهداف یادگیری

در پایان فصل، دانشجو با مفاهیم زیر آشنا می‌شود:

۱. مقدمه‌ای بر فرسایش
۲. تعریف فرسایش
۳. عوامل مؤثر بر میزان فرسایش
۴. اثرات درونی و بیرونی فرسایش
۵. حد قابل قبول فرسایش
۶. مراحل مختلف فرسایش
۷. مناطق مستعد فرسایش

۱-۱. مقدمه

خاک، یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور محسوب می‌گردد. بشر در طی تاریخ تکاملی خود، همواره از خاک به‌عنوان بستری برای کشت و کار محصولات کشاورزی و تأمین نیازهای غذایی استفاده نموده است تا ادامه‌ی حیات خود را تضمین سازد. یکی از عواملی که در کشاورزی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد و عامل اصلی نابودی بسیاری از زمین‌های حاصلخیز کشاورزی و تبدیل آن‌ها به مکان‌های غیر قابل

کشت می‌باشد، پدیده‌ی «فرسایش خاک»^۱ است. امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری جدی برای رفاه انسان و حتی برای ادامه‌ی حیات او به‌شمار می‌آید. در مناطقی که فرسایش کنترل نمی‌شود، عمق خاک به‌تدریج کاهش می‌یابد و حاصلخیزی خود را از دست می‌دهد. فرسایش خاک نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد و از این راه، خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر جای می‌گذارد؛ بلکه با رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، مخازن سدها و بنادر و کاهش ظرفیت آبیگری آن‌ها، زیان‌های فراوانی را موجب می‌گردد.

فرسایش خاک، همواره در طی قرن‌های مختلف یکی از خطرات جدی و تهدیدکننده‌ی رفاه و آبادی هر جامعه محسوب می‌شده است. بر پایه‌ی برآوردهای انجام‌شده، سالیانه چندین میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان بر اثر فرسایش خاک به کام نابودی کشیده می‌شوند. فائو (۱۹۹۱) پیش‌بینی نمود که مقدار فرسایش در ایران در سال ۱۳۹۰ به ۴/۵ میلیارد تُن می‌رسد. فعل و انفعالات فرسایش خاک و جایگزینی اراضی غیر قابل کشت بجای بسترهای حاصلخیز خاک، تأسفانگیز است و این فرآیند، باعث مهاجرت هزاران نفر از روستاییان به سمت شهرها شده است. به‌علاوه، بیابان‌زایی، سیل و خشک‌سالی، فرونشست و رانش زمین، خشک‌شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها، تولید گرد و غبار و ریزگردها، و آلودگی آب و هوا را می‌توان از دیگر پیامدهای فرسایش خاک یاد نمود. بنابراین، تردیدی نیست که پیشرفت و دوام زندگی انسان و دیگر موجودات زنده، مستلزم به کار بردن روش‌های مناسب و مؤثر برای جلوگیری یا کم نمودن میزان شست‌وشو و هدرروی خاک می‌باشد.

به عقیده‌ی عموم کارشناسان، مهم‌ترین علت فرسایش خاک، عوامل انسانی است. افزایش رشد جمعیت، نیازهای اقتصادی زیادی را به دنبال داشته است؛ چراکه یکی از اساسی‌ترین نیازهای جمعیت موجود در کشور، تأمین مسکن می‌باشد و افراد سودجو، از این نیاز آگاهی دارند و به تخریب جنگل‌ها می‌پردازند. متأسفانه، ناتوانی مراکز ترویجی در اشاعه‌ی فرهنگ استفاده‌ی صحیح از جنگل‌ها و مراتع براساس اصول علمی و فقدان مدارس آموزش منابع طبیعی کافی برای روستاییان و عشایر از علل دیگر روند تصاعدی بالا می‌باشند. بر مبنای دلایل فوق، انسان از طریق افزایش تعداد دام در سطح

مراعات و تخریب غیرقانونی جنگل‌ها، عدم کاربری صحیح اراضی کشاورزی، استفاده‌ی نادرست از منابع آب و گاهی از طریق احداث خطوط جاده‌ای و بهره‌برداری غلط از معادن، فرسایش خاک را از حالت طبیعی و معمول خود خارج ساخته و بر آن دامن‌زده است. علاوه بر این، می‌توان به عدم تخصیص بودجه‌ی مناسب برای مبارزه با پیشرفت بیابان‌ها و همچنین عدم توجه به حفظ زمین‌های زیرکشت اشاره نمود. با نیم‌نگاهی به تاریخچه‌ی کشاورزی کشورهای توسعه‌یافته (مانند آمریکا، فرانسه و ژاپن)، می‌توان دریافت که این کشورها دارای برنامه‌ریزی صحیح در بخش کشاورزی می‌باشند و کمبود بودجه‌ی بخش صنعت خویش را از درآمدهای بخش کشاورزی تأمین می‌کنند. متأسفانه در کشور ما، توجه بیشتر مسئولان کشوری به بخش صنعت و عدم توجه آنان به بخش کشاورزی و نادیده گرفتن مشکلات آن، باعث شده است که مسیر قهقرایی تخریب اراضی کشاورزی، در سالیان اخیر، سرعت بیشتری به خود بگیرد. بنابراین، نباید مسأله‌ی حفاظت خاک را کوچک و کم‌اهمیت شمرد و توجه هر چه بیشتر و بهتر به این موضوع، می‌تواند آینده‌ی جمعیت ایران را تأمین سازد. در واقع، به منظور جلوگیری از فرسایش خاک که به معنی کاهش میزان تلفات خاک می‌باشد بایستی سرعت فرسایش، تقریباً برابر سرعت طبیعی تلفات خاک گردد و این امر بستگی به انتخاب راهکارهای مناسب در حفاظت خاک دارد. این موضوع، مستلزم شناخت تمامی فرآیندهای فرسایش است و در این کتاب تلاش گردیده است تا حد امکان، توجه خوانندگان محترم را به این موضوع‌ها جلب نماید.

۱-۲. تعریف فرسایش

واژه‌ی فرسایش^۱ از ریشه‌ی لاتین «ارودری»^۲ به معنی «ساییدگی» گرفته شده است و عبارت از «ساییدگی سطح زمین» یا «کاهش تدریجی مواد» می‌باشد. به‌طور کلی، فرسایش به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن، ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا می‌شوند و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده (مانند آب یا باد) به مکان دیگری حمل می‌گردند. در علم کشاورزی، فرسایش خاک را انتقال یا حرکت خاک از

1- Erosion

2- Eroderi

نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر در سطح زمین گویند که باعث تخریب اراضی و کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود. در هر حال، مکانیسم فرسایش خاک را می‌توان به‌صورت معادله‌ی زیر بیان نمود:

$$E = f (Erosivity + Erodibility)$$

که در این معادله:

E = فرسایش

$Erosivity$ = پتانسیل باران برای تولید فرسایش خاک که به خصوصیات باران بستگی دارد.

$Erodibility$ = فرسایش‌پذیری خاک که عوامل مختلفی بر آن تأثیرگذار هستند.

مکانیسم فرسایش خاک، مبنای ریاضی بسیاری از مدل‌های برآورد فرسایش خاک می‌باشد (به‌منظور آشنایی بیش‌تر با مدل‌های فرسایش خاک، به فصل سوم مراجعه شود).

۱-۳-۱. عوامل مؤثر بر فرسایش

فرسایش، یک پدیده‌ی تسطیح یا هموارکننده‌ی سطح زمین است؛ به این معنی که خاک‌ها و قله‌سنگ‌ها در طی فرآیند فرسایش از نقاط مرتفع‌تر به محل‌های پست‌تر حرکت می‌کنند که نیروهای مختلفی در این رابطه تأثیرگذار می‌باشند. به‌طور کلی، فاکتورهایی که بر مقدار فرسایش اثرگذار هستند در سه گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱-۳-۱. عامل انرژی

انرژی اولیه برای سست‌شدن بستر سنگ و خاک و به حرکت در آمدن آن‌ها می‌تواند تحت تأثیر نیروهای مختلف تأمین گردد که در زیر به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌گردد.

- مقدار کل بارندگی و شدت آن: بارندگی زیاد در صورتی که ریزش آن آرام

باشد، فرسایش زیادی ایجاد نمی‌کند در حالی که باران‌های شدید، حتی به مقدار کم، موجب فرسایش زیاد می‌شوند. در فصل سرما که زمین منجمد می‌شود و در فصل رشد گیاهان که پوشش گیاهی انبوه است، بارندگی اثر فرسایشی کمتری دارد.

مطالعاتی که در زمینه‌ی رابطه‌ی هدررفت خاک و اقلیم در مقیاس جهانی انجام شده است، نشان می‌دهند که فرسایش در جاهایی به بیشینه خود می‌رسد که میانگین بارندگی مؤثر سالیانه‌ی آن، ۳۰۰ میلی‌متر باشد (مورگان^۱، ۱۹۹۶). منظور از بارندگی مؤثر، مقدار بارانی است که در شرایط مشخصی از درجه‌ی حرارت بتواند مقدار معینی روان‌آب ایجاد کند. در وضعیتی که مقدار بارندگی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد با افزودن شدن بارندگی، فرسایش نیز افزایش می‌یابد. البته افزایش بارندگی باعث بهتر شدن پوشش گیاهی نیز می‌شود و این خود، سطح خاک را بهتر محافظت می‌کند. اما در وضعیتی که مقدار بارندگی سالیانه بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد، نقش حفاظتی پوشش گیاهی بر عوامل فرسایش فزونی می‌گیرد. در نتیجه با افزودن شدن بارندگی، میزان هدررفت خاک، کاهش پیدا می‌کند. البته شاهدهایی نیز در دسترس هستند که ثابت می‌کنند اگر نزولات جوی از حدی بیشتر شود بارندگی و روان‌آب ناشی از آن‌ها ممکن است به اندازه‌ای زیاد شوند که خود باعث افزایش هدررفت خاک گردند. به‌منظور دریافت اطلاعات بیشتر در مورد اثر مقدار و شدت بارندگی بر میزان فرسایش، به فصل سوم مراجعه نمایید.

- **باد:** باد به خودی خود نمی‌تواند سنگ‌ها و صخره‌ها را فرسایش دهد ولی وقتی همراه خود ذرات معلق سیلت و رس را حمل می‌کند یا ذرات شن را به‌صورت خزش و جهش منتقل می‌کند، موجب ساییده‌شدن (حتی سخت‌ترین صخره‌ها) می‌گردد. این عمل، شبیه حرکت با دور آهسته‌ی عمل سُنْباده‌کشی است که به‌منظور تمیز کردن سطح فلزات قبل از رنگ کردن آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- **شیب زمین:** شیب زیاد باعث تسریع جریان آب می‌شود و به همان نسبت، میزان فرسایش و هدرروی خاک افزایش پیدا می‌کند. طول شیب نیز اهمیت دارد، چون هر قدر شیب ادامه‌ی بیشتری داشته باشد بر مقدار جریان سطحی آب افزوده خواهد شد.

- **موجودات زنده:** بعضی از انواع موجودات زنده (مانند جلبک‌ها و گل‌سنگ‌ها) در عمل، موجب شکسته‌شدن سنگ‌ها می‌شوند؛ ولی اثر عمده‌ی این موجودات، ایجاد اختلالاتی است که اثر عوامل دیگر را سرعت می‌بخشد.

حیوانات نیز با پا گذاشتن بر روی سنگ و خاک، موجبات شکستن و خرد شدن آن‌ها را فراهم می‌آورند و در نتیجه، حمل آن‌ها را توسط آب و یا باد تسهیل می‌کنند. کرم خاکی و موریانه از جمله موجوداتی هستند که موجب به هم خوردن و افزایش هواپدگی و اکسیداسیون خاک می‌شوند و به این ترتیب، پدیده‌ی تبدیل صخره‌های مقاوم به خاک قابل فرسوده شدن را سرعت می‌بخشند.

یکی از مهم‌ترین عوامل تشدیدکننده‌ی فرسایش خاک، انسان می‌باشد. بشر با دخالت‌های مستقیم و غیرمستقیم خود می‌تواند اثر تشدید و یا تعدیلی بر فرسایش خاک داشته باشد که البته آمارهای ارائه شده، نقش انسان در افزایش میزان فرسایش را بارزتر می‌سازند. انسان با شخم زدن زمین، میلیون‌ها بار سریع‌تر از حیوانات حفار، موجب به هم خوردن و هواپدگی خاک می‌گردد. با این عمل در حقیقت، تمام پدیده‌های فیزیکی طبیعت که فرسایش نیز یکی از آن‌ها است، تشدید می‌شوند.

- تغییرات درجه حرارت: در مقیاس‌های زمانی کوتاه، گذشت زمان غیر قابل تشخیص است و تغییرات بسیار جزئی یا بسیار آهسته در مدت زمان طولانی اهمیت پیدا می‌کنند. به عنوان مثال می‌توان از ورقه ورقه شدن و شکاف برداشتن سنگ‌ها و صخره‌ها در اثر تغییر درجه حرارت نام برد. تغییرات سریع درجه حرارت شب و روز، فقط روی سطح صخره‌ها اثر می‌گذارد در حالی که تغییرات آرام بین زمستان و تابستان تا اعماق بیش‌تری نفوذ می‌کند. وقتی که تغییرات درجه حرارت با یخبندان همراه باشد، در اثر انبساط حجم آب در بین شکاف‌ها و درزها، اثر خردکنندگی آن به شدت افزایش می‌یابد.

۱-۳-۲. عامل مقاومت

خصوصیات خاک‌ها و نحوه‌ی مدیریت آن‌ها بر مقدار فرسایش تأثیرگذار می‌باشند که این ویژگی‌ها تحت عنوان عامل مقاومت، مورد بحث قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر، هر خاکی با خصوصیت‌های معین، دارای شدت فرسایش مشخصی است. به عنوان نمونه، خاک‌های دارای اجزای سنگی و یا پوسته‌های بیولوژیکی، در مقابل ضربه‌ی قطره‌های باران، مقاومت بیشتری دارند. از طرفی، خاکدانه‌های پایدار در مقابل ضربه‌ی قطره‌های باران مقاومت می‌کنند و خاک‌ها را حتی در صورت وقوع روان‌آب، حفظ

می‌کنند. خاک‌های رسی خاص موجود در مناطق گرمسیری که دارای اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم بالایی هستند، به خاطر دارا بودن خاک‌دانه‌های بسیار مقاوم در مقابل بارش‌های سیل‌آسا مقاومت می‌کنند و از این جنبه، حایز اهمیت می‌باشند.

همان‌گونه که اشاره گردید، مدیریت خاک نیز یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر بر فرسایش خاک می‌باشد. هدف از انجام عملیات مدیریت خاک، حاصلخیز نگه داشتن و حفظ ساختمان خاک است. حاصلخیز بودن خاک به معنای تولید بیشتر، پوشش گیاهی مناسب‌تر و به حداقل رساندن اثر مخرب قطره‌های باران، روان‌آب و باد می‌باشد. به‌طور معمول، خاک‌های حاصلخیز، دارای ساختمانی پایدار و دانه‌ای هستند و در اثر عملیات کشاورزی، از نفوذپذیری آن‌ها کاسته نمی‌شود. بنابراین، حاصلخیزی خاک را باید به‌عنوان کلید حفاظت خاک تلقی نمود.

۱-۳-۳. عامل حفاظت

چگونگی جلوگیری از فرسایش بیشتر خاک، موضوعی است که در قالب حفاظت و فاکتورهای مؤثر بر این عامل مورد بحث قرار می‌گیرد. از جمله روش‌های حفاظت خاک می‌توان به شخم عمود بر جهت شیب، ترانس‌بندی و ایجاد بانکت اشاره کرد. در فصل چهارم، شیوه‌های مختلف حفاظت خاک (روش‌های مبارزه با فرسایش) مورد بحث قرار گرفته‌اند. با این وجود در رابطه با عامل حفاظت به دو فاکتور مهم تراکم جمعیت و پوشش گیاهی، اشاره‌ای کوتاه می‌گردد.

- **تراکم جمعیت:** افزایش رشد جمعیت، نیازهای اقتصادی زیادی را به دنبال داشته است به‌طوری که کشاورزان مجبور شده‌اند تولید محصولات غذایی را برای رفع چنین نیازهایی به بیش از دو برابر برسانند. در این راستا، بسیاری از افراد به‌واسطه‌ی جنگل‌تراشی و سوزاندن درختان در شیب‌های تند و شخم مراتع، اقدام به توسعه‌ی سطح اراضی زیر کشت نموده‌اند. همچنین، فشار جمعیت، سبب چرای بی‌رویه‌ی دام‌ها در مراتع و استخراج بیش از حد منابع چوب گردیده است. پیامد تمامی این فعالیت‌ها، تخریب و یا حذف پوشش گیاهی و در معرض فرسایش قرار گرفتن هر چه بیشتر خاک حساس زیرین این مناطق به فرسایش است. در نتیجه به مرور زمان، کیفیت

اراضی کاهش می‌یابد و نابودی زود هنگام آن‌ها را باعث می‌شود.

- پوشش گیاهی: فرسایش شدید، زمانی اتفاق می‌افتد که پوشش گیاهی از بین برود و فضای خالی بین گیاهان، بیشتر گردد. در نتیجه، اثر مخرب قطره‌های باران بر خاک سطحی، افزایش خواهد یافت و ساختار خاک، دچار اختلال خواهد شد. از طرفی، به دلیل افزایش میزان روان‌آب، کاهش مواد مغذی خاک را شاهد خواهیم بود. بنابراین، فرسایش و روان‌آب، به طور قابل ملاحظه‌ای به وسیله‌ی انواع پوشش گیاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

پوشش جنگلی و مرتعی، مؤثرترین عوامل محافظ خاک در مقابل فرسایش هستند. گیاهان زراعی، اثر محافظتی کمتری دارند؛ ولی این موضوع در گیاهان مختلف، یکسان نیست. گیاهان دانه‌ریز (مانند گندم و چاودار)، به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به شست‌وشوی سطحی خاک، ممانعت به عمل می‌آورند. گیاهان ردیفی (مانند ذرت، سویا و سیب‌زمینی) در مراحل رشد اولیه، پوشش زنده‌ی اندکی دارند و بنابراین خاک در معرض فرسایش قرار می‌گیرد مگر آن‌که پسمانده‌های زراعت قبلی، سطح خاک را پوشش دهند.

گیاهان پوششی (مانند گیاهان علوفه‌ای) می‌توانند سبب ایجاد پوشش در فاصله‌ی بین فصول رشد گیاهان یک‌ساله گردند. گیاهان چندساله نیز می‌توانند به طور دایم، موجب حفاظت خاک در بین ردیف درختان شوند. پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق مختلف، نشان می‌دهند که لازم نیست خاک‌پوش سطحی، چندان ضخیم باشد و یا تمام سطح خاک را به طور کامل پوشش دهد تا سبب حفاظت خاک گردد. در واقع، افزایش اندک در پوشش سطحی می‌تواند کاهش چشمگیری را در فرسایش خاک فراهم آورد. از سوی دیگر، بایستی توجه داشت که گیاهان مرتفع با تراکم نامطلوب و پراکنش نامناسب می‌توانند سبب تشدید فرسایش خاک شوند. به دیگر سخن، قرارگیری قطره‌های باران بر روی سطح برگ آن‌ها و به هم پیوستن این قطره‌ها می‌تواند ایجاد قطره‌های درشت‌تر و با وزن بیش‌تر را به دنبال داشته باشد. در نتیجه، به دلیل بیش‌تر بودن سرعت سقوط و انرژی جنبشی قطره‌های درشت‌تر، امکان تشدید فرسایش خاک سطحی فراهم‌تر خواهد بود.

۴-۱. اثرات فرسایش

فرسایش، علاوه بر ایجاد خسارت در محل اصلی، دارای اثرات نامطلوب در خارج از محل وقوع آن نیز می‌باشد. بنابراین، اثرات فرسایش را می‌توان به دو گروه کلی «اثرات درون منطقه‌ای»^۱ و «اثرات بیرون منطقه‌ای»^۲ گروه‌بندی نمود. منظور از اثرات درونی، خسارت‌های وارده در محل وقوع فرسایش می‌باشند؛ در حالی که اثرات بیرونی، هزینه‌های فرسایش در خارج از محیط اصلی آن را شامل می‌شوند که به‌طور عمده، مربوط به اثرات رسوب و مواد شیمیایی همراه آن‌ها در اراضی پایین‌دست هستند. هرچند ممکن است که هزینه‌های این دو نوع خسارت، بلافاصله ظاهر نشوند ولی واقعیت آن است که اینگونه اثرات وجود دارند و در طول زمان آشکار می‌گردند.

۴-۱-۱. اثرات فرسایش در محل

بدیهی است که آشکارترین جنبه‌ی فرسایش، هدررفت خود خاک است. این هدررفت می‌تواند بر روی ویژگی‌های مختلف (فیزیکی، شیمیایی و زیستی) اثرگذار باشد.

از مهم‌ترین اثرات فرسایش بر خصوصیات فیزیکی خاک می‌توان به از بین رفتن ساختمان خاک و کاهش نفوذپذیری آن، کاهش ظرفیت ذخیره‌ی آب در خاک، سله بستن، متراکم شدن و سخت شدن خاک، خارج شدن ذرات کلوییدی و رسی از سطح خاک، کاهش عمق خاک و کاهش سطح زیر کشت اشاره نمود.

از جمله اختلال‌های شیمیایی و تغذیه‌ای مربوط به فرسایش می‌توان کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی^۳ و کمبود عناصر غذایی را نام برد. همچنین فرسایش، خاک سطحی را از بین می‌برد. این لایه‌ی سطحی، دارای مقدار زیادی مواد آلی است و به لحاظ زیستی، بسیار فعال می‌باشد. در نتیجه با از دست رفتن خاک سطحی، قابلیت عموم گیاهان برای رشد از بین می‌رود و یا محدود می‌گردد که پیامد این موضوع، تغییر پوشش به سمت گیاهان نامناسب و غیردلخواه (مانند علف‌ها و یا نمونه‌های بوته‌ای) می‌باشد. از سوی دیگر با کاهش مواد آلی، جمعیت میکروبی خاک کاهش می‌یابد و فعالیت زیستی، کم می‌شود. بعلاوه، فرسایش می‌تواند عوامل ایجاد بیماری‌های گیاهی

1- On-site effects

2- Off-site effects

3- Cation Exchange Capacity; CEC

را از خاک به پوشش برگی گیاه و یا از مناطق بالادست به مناطق پایین دست انتقال دهد.

۱-۴-۲. اثرات فرسایش در خارج از محل

با جداسازی رسوبات و عناصر غذایی از خاک اصلی و انتقال آن‌ها به اراضی پایین دست، فشارهای جدیدی بر این اراضی وارد می‌شوند که ناشی از اثرات بیرونی فرسایش خاک می‌باشند. از مهم‌ترین این اثرات می‌توان به رسوب‌گذاری در مخازن و سدها، کاهش عملکرد محصول و به خطر افتادن سلامتی انسان و دام اشاره نمود که در زیر به توضیح مختصر برخی از این اثرات پرداخته شده است.

- **اثرات فرسایش در پُر شدن سریع سدها.** با تجمع رسوبات فرسایش‌یافته در درون دریاچه‌ی سد، ظرفیت آن برای ذخیره‌ی آب، نگهداری سیلاب و تولید نیروی برق، به‌طور مداوم کاهش می‌یابد. از طرفی، هزینه‌های لایروبی، تخلیه، تصفیه و فعالیت‌های ساختمانی برای رفع این مشکلات را نیز باید مد نظر داشت. آمارهای وزارت نیرو نشان می‌دهند که سالانه حدود ۱۸۰ میلیون مترمکعب رسوب در مخازن سدهای کشور ترسیب می‌شود که در خوشبینانه‌ترین شرایط، هزینه‌ای بالغ بر ۱۱۴۵ میلیارد ریال بر کشور تحمیل می‌کند (اسمعی و عبداللهی، ۱۳۸۹). به‌طور کلی هرچه خاک‌های حوزه‌ی آبخیز، بیشتر فرسایش یابند به همان نسبت، مواد بیشتری در پشت سد تجمع می‌یابند و روی هم انباشته می‌شوند. در نتیجه، عمر سد (مدت بهره‌برداری از آن) کوتاه‌تر می‌گردد.

- **اثرات فرسایش بر کاهش حاصلخیزی خاک.** فرسایش خاک به‌عنوان عامل مهمی در کاهش حاصلخیزی شناخته شده است. حذف خاک از اراضی کشاورزی توسط فرسایش، پتانسیل طولانی‌مدت تولید محصول را کاهش می‌دهد.

بر اثر فرسایش، خاک سطحی که از نظر کشاورزی، فعال‌ترین و حاصلخیزترین قسمت پوسته‌ی جامد زمین است، فرسوده می‌شود و در نتیجه، باردهی آن کاهش می‌یابد. چنانچه فرسایش، بسیار شدید باشد موجب می‌گردد که اراضی به‌صورت متروکه رها شوند. به‌طور کلی، می‌توان اظهار داشت که فرسایش از عوامل پایین‌آورنده‌ی بازده زمین‌های کشاورزی محسوب می‌شود و در واقع خاک را از بین

می‌برد.

حاصلخیزی خاک، نه تنها بر اثر فرسایش کاهش می‌یابد، بلکه بر اثر تجمع آبرفت‌های نامرغوب و بادرفتهای شور در سطح زمین‌های بایر نیز در معرض خطر قرار می‌گیرد. اغلب مشاهده شده است که زمین بسیار حاصلخیز بوده است ولی بر اثر جاری شدن سیلاب‌های شور و یا بادرفتهای شور در سطح آن، حاصلخیزی خود را از دست داده است.

پیش از این اشاره گردید که فرسایش، موجب کاهش مواد آلی خاک می‌گردد. حال چنانچه قابلیت نفوذ آب یا هوا در خاک بر اثر کم شدن یا از بین رفتن ماده‌ی آلی و تأثیر سایر عوامل کاهش یابد، خاکدانه‌ها متلاشی و از هم جدا می‌شوند. در نتیجه، ساختمان خاک متراکم می‌گردد. در چنین حالتی، در فصل مرطوب، محیط نامساعد و خفه‌کننده‌ای در خاک به وجود می‌آید؛ زیرا آب و هوا نمی‌توانند در خاک نفوذ کنند و هم‌چنین، خاک قادر نیست که آب را برای فصل خشکی در خود ذخیره کند. در چنین محیطی به تدریج ریزجانداران خاک (میکروارگانیزم‌ها) از بین می‌روند و هوموس خاک تلف می‌شود. بنابراین، با از بین رفتن هوموس و موجودات زنده، حاصلخیزی خاک به کلی از دست می‌رود.

- اثرات فرسایش بر کاهش عملکرد گیاه. کمی کردن اثر فرسایش خاک بر عملکرد محصول، کار پیچیده‌ای است؛ به این دلیل که باید ارزیابی دقیقی از اثرات متقابل بین خصوصیات خاک، مشخصات محصول و اقلیم صورت گیرد. اثرات فرسایش بر عملکرد گیاه به صورت تجمعی است و حتی مدت‌ها بعد از شروع فرسایش شدید هم قابل مشاهده نمی‌باشد. به طور کلی، فرسایش خاک از طریق اتلاف هوموس و عناصر غذایی، تخریب ساختمان، کاهش عمق خاک و نیز کاهش ظرفیت نگهداری آب خاک، عملکرد محصول را کاهش می‌دهد.

- اثرات فرسایش بر سلامتی انسان و دام. ذرات ریزی که در اثر فرسایش (به ویژه فرسایش بادی) انتقال می‌یابند، خطرات عمده‌ای را برای سلامتی انسان به بار می‌آورند. ذراتی که در اندازه‌ی سیلت می‌باشند، به طور معمول، توسط موهای بینی تصفیه می‌شوند و یا در لایه‌ی گُرک‌دار لوله‌های تنفسی و نایژه‌ها رسوب می‌یابند. این در حالی است که ذرات کوچک‌تر (در حد و اندازه‌های رس)، از این اندام‌های دفاعی

عبور می‌کنند و در کیسه‌های هوایی شش‌ها تجمع می‌یابند. خود این ذرات، موجب ملتهب شدن شش‌ها می‌گردند؛ اما ممکن است که حاوی مواد سمّی نیز باشند که در این صورت، خسارت‌های بیشتری را به همراه خواهند داشت. برای مثال، ممکن است که ذرات رس موجود در هوا، دارای رس‌های ریز و سوزنی‌شکل از نوع رس‌های فیبری (مانند پالی‌گورسکایت و سپیولایت)^۱ باشند که با ورود آن‌ها به دستگاه تنفسی، ایجاد خراش‌هایی بر روی سامانه‌ی تنفسی انسان می‌کنند و موجب خونریزی‌های داخلی می‌شوند.

هم‌چنین، جذب کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و سموم دفع آفات به‌وسیله‌ی ذرات خاک و انتقال آن‌ها از طریق فرسایش خاک، ممکن است سبب آلودگی آب‌های سطحی و زیرسطحی شود. در نتیجه، استفاده از چنین آب‌هایی توسط انسان و سایر موجودات زنده، می‌تواند بروز امراض مختلف را برای آن‌ها به دنبال داشته باشد.

۱-۵. حد قابل قبول فرسایش^۲

با توجه به پیامدهای ناگوار فرسایش، کارشناسان و متخصصان باید تمام تلاش خود را برای جلوگیری از پیدایش فرسایش انجام دهند. حال، یک پرسش اساسی مطرح می‌باشد و آن این‌که «حد فرسایشی که در آن حد دیگر ناپیستی فرسایش را تحمل کرد، بلکه بایستی در مورد آن کاری انجام داد، کجاست؟»

معمولاً به پرسش بالا، این‌گونه پاسخ داده می‌شود که هدف متخصصین حفاظت خاک، اطمینان از این موضوع است که از زمین به ترتیبی استفاده شود که این کاربری بتواند به‌طور مستمر ادامه یابد. یعنی هیچ‌گونه تخریب تدریجی خاک صورت نپذیرد. این هدف، زمانی تحقق می‌یابد که سرعت از دست رفتن خاک، بیشتر از سرعت تشکیل آن نباشد. هنگامی میزان فرسایش، کمتر از مقدار تشکیل خاک یا برابر با آن است که خصوصیات خاک (مانند بافت، حاصلخیزی و عمق خاک) در طول زمان ثابت بمانند. سرعت تشکیل خاک را نمی‌توان به دقت اندازه‌گیری کرد؛ ولی در شرایط طبیعی (ثابت بودن خصوصیات خاک با گذشت زمان)، حدود ۳۰۰ سال طول می‌کشد تا ۲۵

1- Palygorskite and sepiolite

2- Erosion acceptable limit

میلی متر خاک سطحی تشکیل شود (بنت^۱، ۱۹۳۹). این مدت برای وقتی که بهم خوردگی، هوادیدگی و شست و شوی خاک با عملیات تهیه‌ی زمین، سرعت می‌گیرند به حدود ۳۰ سال تقلیل می‌یابد. سرعت تشکیل ۲۵ میلی متر خاک در طول ۳۰ سال، تقریباً برابر با ۱۲/۵ تن در هکتار در سال می‌باشد و این رقمی است که اغلب به عنوان حدی که فرسایش ناپیوستگی از آن بیشتر شود، پذیرفته شده است. در واقع، منظور از فرسایش قابل قبول، عبارت از حداکثر مقدار خاکی است که هر سال می‌تواند به وسیله‌ی فرسایش در یک خاک معین، بدون تأثیر در توان تولید درازمدت آن خاک به هدر رود. مقدار فرسایش قابل قبول در حال حاضر نه براساس اطلاعات دقیق پژوهشی بلکه بر مبنای بهترین قضاوت پژوهشگران صاحب نظر استوار می‌باشد.

بایستی توجه داشت که میزان قابل قبول خاک از دست رفته ثابت نمی‌باشد و به تعدادی از عوامل کیفی و مدیریتی خاک (مانند عمق خاک، مقدار ماده‌ی آلی خاک و استفاده از عملیات مهار آب) بستگی دارد. اگر خاک رخی از یک خاک عمیق با حاصلخیزی یکسان در تمام سطوح تشکیل شده باشد، از دست دادن ۲۵ میلی متر خاک در طول ۳۰ سال، خطر جدی در بر ندارد. حال آنکه از دست رفتن همین مقدار خاک از خاک رخ تشکیل شده از چند سانتی متر خاک بر روی صخره‌های سخت، فاجعه‌آمیز است. بدین ترتیب، ارقامی که به عنوان حد قابل قبول فرسایش، مورد استفاده قرار می‌گیرند، به ندرت از ۱۲/۵ تن بر هکتار در سال بالاتر هستند. برای مثال، در خاک‌های آمریکای ارقام بین ۲/۵ تا ۱۲/۵ تن بر هکتار در سال متداول می‌باشند. در افریقای مرکزی، رقم ۱۰ تن بر هکتار در سال برای خاک‌های شنی و ۱۲/۵ تن بر هکتار در سال برای خاک‌های رسی به کار می‌رود. حد فرسایش قابل قبول در ایران، حدود ۰/۱۵ تا ۱/۵ تن در هکتار در سال در نظر گرفته شده است. به طور متوسط اگر این حد برابر ۰/۸ تن در هکتار در سال در نظر گرفته شود؛ با توجه به آن که متوسط هدررفت خاک در کشور، حدود ۲۵ تن در هکتار در سال بیان شده است، مقدار فرسایش خاک حدود ۳۰ برابر حد خاک‌سازی خواهد بود.

در هر حال با توجه به حد قابل قبول فرسایش، نه تنها می‌توان به منظور حفظ توان تولید خاک‌های با خصوصیات مختلف، برنامه‌ریزی و مدیریت نمود؛ بلکه می‌توان از این ویژگی در ارزیابی و تعیین برنامه‌های نظارتی متعدد بهره گرفت.

۱-۶. مراحل مختلف فرسایش

فرسایش، به هر شیوه‌ای که صورت گیرد، دارای سه مرحله‌ی اساسی می‌باشد که در زیر به توضیح آن‌ها پرداخته شده است.

۱-۶-۱. جدا شدن ذرات از توده‌های اصلی خاک

در این مرحله، ابتدا خاکدانه‌ها بر اثر از بین رفتن هوموس و کلوییدهای خاک، چسبندگی خود را از دست می‌دهند و از هم می‌پاشند. در نتیجه، خاک آماده‌ی فرسایش می‌شود. در چنین وضعی، لایه‌ی سطحی خاک که حاصلخیزترین قسمت آن است، به‌طور ناگهانی یا به‌تدریج، توسط آب یا باد از جای خود کنده می‌شود. پس از فرسایش خاک رویی، لایه‌های غیرحاصلخیز زیری یا سنگ مادر آن ظاهر می‌گردد. عواملی مانند انجماد و ذوب متناوب، ضربه‌ی قطره‌های باران و جریان آب، اثر جداکنندگی دارند و مواد را برای شسته‌شدن آماده می‌کنند.

۱-۶-۲. انتقال ذرات جداشده

چون ذرات خاک چسبندگی خود را از دست داده‌اند، نمی‌توانند در مقابل جریان‌های شدید آب‌ها یا بادهای تند مقاومت کنند. در نتیجه از جای خود کنده می‌شوند و به نقطه‌ای دیگر منتقل می‌گردند. مسافتی که آب یا باد، مواد را با خود می‌برند، به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به شدت آب یا باد، شیب زمین، ریزی و درشتی آبرفت‌ها یا بادرفت‌ها و هم‌چنین، مسطح و وسیع بودن جلگه‌ها و دشت‌ها اشاره نمود.

۱-۶-۳. تجمع و انباشته‌شدن مواد

آبرفت‌ها به‌تدریج که از شدت جریان آب و شیب زمین کاسته می‌شود از حرکت باز می‌مانند و در سطح زمین رسوب می‌کنند؛ به‌طوری که ابتدا، ذرات درشت‌تر و سپس، ذرات ریزتر بر جای می‌مانند. در بعضی موارد، تجمع مواد آبرفتی به‌قدری زیاد است که یک طبقه‌ی رسوبی قابل توجه را تشکیل می‌دهند. بادرفت‌ها نیز هر جا به مانعی (مانند گیاه، دیوار، سنگ و غیره) برخورد کنند،

روی هم انباشته می‌شوند. این مواد در شرایط فوق‌العاده، تشکیل تپه‌های بزرگ و حتی توده‌های عظیم ماسه‌ای را می‌دهند. توده‌های عظیم ماسه‌ای (تلماسه‌های) جنوب شرقی ایران که با ارتفاع حدود ۲۰۰ متر، مساحتی حدود «۵۲×۱۶۲» کیلومتر را اشغال کرده‌اند، نمونه‌ای از این بادرفتها می‌باشند.

۱-۷. مهم‌ترین مناطق مستعد فرسایش

مناطق نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب دنیا (به‌ویژه چین، هندوستان، غرب آمریکا، روسیه‌ی مرکزی و نواحی مدیترانه‌ای)، سخت در معرض فرسایش قرار دارند. مشکل فرسایش خاک در این مناطق، همراه با نیاز شدید به حفاظت آب و موضوع حساس بودن شرایط اکولوژیکی محیط است به‌طوری که حذف پوشش گیاهی (چه به‌صورت چرای دام و چه به شکل برداشت محصول)، باعث کاهش سریع مواد آلی می‌شود که تخریب خاک و خطر کویری‌شدن آن را در پی خواهد داشت.

از دیگر مناطقی که با فرسایش شدید روبه‌رو هستند، نواحی کوهستانی (مانند کوه‌های آند، هیمالایا، بخشی از کوه‌های راکی و بریدگی‌های دَرّه‌ای آفریقا) و مناطق پوشیده از خاک‌های آتشفشانی (مانند جاوه، جزیره‌ی جنوبی نیوزلند، گینه‌ی جدید و قسمت‌هایی از آمریکای مرکزی) را می‌توان نام برد.

سومین مناطق دنیا که با خطر فرسایش روبه‌رو می‌باشند، مناطقی هستند که در آن‌ها شکل زمین و خاک، نتیجه‌ی اقلیم‌های گذشته^۱ است. هرچند این مناطق در حال حاضر ظاهراً پایدار به نظر می‌رسند، ولی کوچک‌ترین کار تخریبی، این پایداری را از بین می‌برد و ممکن است که منجر به ایجاد خندق‌هایی عمیق در نواحی مذکور شود.

اما مشکل فرسایش خاک در ایران که بخش وسیعی از آن را مناطق کویری در بر گرفته است و خاک از پوشش مناسبی برخوردار نیست، بسیار بارزتر و چشم‌گیرتر می‌باشد. هرچند شرایط اقلیمی و وضع کنونی زمین‌شناسی ایران به‌گونه‌ای است که آن را به‌صورت یک کشور مستعد به فرسایش خاک درآورده است، ولی حقیقت آن است که میزان فرسایش خاک در ایران، بیش از مقدار مورد نظر می‌باشد. آمارهای منتشرشده نشان می‌دهند که تلفات خاک در اثر فرسایش در مملکت ما، چندین برابر بیش از