

## فصل اول

### مفاهیم و تعاریف اولیه

#### اهداف

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"<sup>۱</sup> است. امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری جدی برای رفاه انسان

---

1- Soil erosion

## حفاظت آب و خاک تکمیلی/۲

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 نموده است که مقدار فرسایش در ایران در سال ۱۳۹۰ به ۴/۵ میلیارد تُن برسد. 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. بنابراین، تردیدی نیست که پیشرفت و دوام کشاورزی، 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 بر اساس 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 مراتع 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 است و بر آن دامن زده 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، به‌دلیل توجه بیشتر مسؤولان 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 ایت 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.

## ۲-۱) تعریف فرسایش

کلمه‌ی فرسایش (اروژن)<sup>۱</sup> از ریشه‌ی لاتین "ارودری"<sup>۲</sup> 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 نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر در سطح زمین گویند که باعث تخریب اراضی و کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود.

## ۳-۱) عوامل مؤثر بر فرسایش

فرسایش، یک پدیده‌ی تسطیح یا هموارکننده‌ی سطح زمین است؛ به این معنی که خاک‌ها و قلوه‌سنگ‌ها 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 خلاصه می‌شوند:

---

1- Erosion

2- Eroderi

حفاظت آب و خاک تکمیلی/۴

### ۱-۳-۱) عامل انرژی

انرژی اولیه برای سست شدن 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.

### ۱-۳-۱-۱) 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 تلفات خاک و اقلیم در مقیاس جهانی انجام شده است، نشان می‌دهند که فرسایش در جاهایی به حداکثر خود می‌رسد که میانگین بارندگی مؤثر سالانه‌ی آن، ۳۰۰ میلی‌متر باشد (مورگان، 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 افزوده 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 سالانه، بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد، نقش حفاظتی پوشش گیاهی بر عوامل فرسایش فزونی می‌گیرد. در نتیجه، با افزوده شدن بارندگی، میزان تلفات 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 اندازه‌ی زیاد شوند که خود باعث افزایش تلفات خاک گردند. به‌منظور دریافت اطلاعات بیشتر در مورد مقدار و شدت بارندگی بر میزان فرسایش، به فصل سوم مراجعه نمایید.

### ۱-۳-۱-۲) باد

باد به خودی خود نمی‌تواند صخره‌ها را بفرساید، ولی وقتی همراه خود ذرات معلق سیلت و رس را حمل می‌کند یا ذرات شن را به‌صورت خزش و جهش منتقل می‌کند، موجب ساییده شدن (حتی سخت‌ترین صخره‌ها) می‌گردد. این عمل، شبیه حرکت با دور آهسته‌ی عمل

سُنباده‌کشی است که به منظور تمیز کردن سطح فلزات، قبل از رنگ کردن آن‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۳-۱-۳) شیب زمین

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

### ۳-۱-۴) موجودات زنده

بعضی از انواع موجودات زنده (مانند جلبک‌ها و گل‌سنگ‌ها)، در عمل، موجب شکسته شدن 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 فرسایش، انسان می‌باشد. بشر با دخالت‌های مستقیم و غیرمستقیم خود می‌تواند اثر تشدید و یا تعدیلی بر فرسایش خاک داشته باشد که البته آمارهای آرایه-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.

### ۳-۱-۵) 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 ورقه‌ورقه

#### حفاظت آب و خاک تکمیلی/۶

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 نیز همراه باشد، در اثر انبساط حجم آب در بین شکاف‌ها و درزها، اثر خردکنندگی آن به‌شدت 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. به‌عنوان 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 نگهداشتن و حفظ ساختمان خاک است. حاصلخیز بودن خاک، به معنی 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 مختصر می‌گردد.

### ۱-۳-۳-۱) 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 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.

### ۱-۳-۳-۲) 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، به‌دلیل افزایش میزان روان‌آب، کاهش مواد مغذی خاک را شاهد خواهیم بود. بنابراین، فرسایش و روان‌آب، به‌طور قابل ملاحظه‌ای، به‌وسیله‌ی 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)، به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به شست‌وشوی سطحی خاک، ممانعت به‌عمل 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 پسماندهای زراعت قبلی، سطح خاک را پوشش دهند.

#### حفاظت آب و خاک تکمیلی/۸

گیاهان پوششی (مانند گیاهان علوفه‌ای) می‌توانند سبب ایجاد پوشش در فاصله‌ی بین فصول رشد گیاهان یک‌ساله گردند. گیاهان چندساله نیز می‌توانند به‌طور 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 به‌طور کامل پوشش دهد تا سبب حفاظت خاک گردد. در واقع، افزایش اندک در پوشش سطحی می‌تواند کاهش چشمگیری را در فرسایش خاک فراهم آورد.

### 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 درونی"<sup>۱</sup> و "اثرات بیرونی"<sup>۲</sup> 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.

### ۱-۴-۱) اثرات فرسایش در محل

بدیهی است که آشکارترین جنبه‌ی فرسایش، هدررفت خود خاک است. این هدررفت می‌تواند بر روی خصوصیات مختلف (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) خاک 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.

---

1- On-site effects

2- Off-site effects



از جمله اختلال‌های شیمیایی و تغذیه‌ای مربوط به فرسایش می‌توان کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی<sup>۱</sup> 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 بیولوژیکی، 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 بیماری‌های گیاهی را از خاک به پوشش برگ گیاه و یا از مناطق بالادست به مناطق پایین‌دست 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 پایین‌دست، 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 اشاره نمود که در زیر به توضیح مختصر برخی از این اثرات اشاره شده است.

#### ۱-۴-۲-۱) 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

---

1- Cation Exchange Capacity; CEC

حفاظت آب و خاک تکمیلی/۱۰

می‌یابند و روی هم انباشته می‌شوند. در نتیجه، عمر سد (مدت بهره‌برداری از آن) کوتاه‌تر می‌گردد.

#### ۱-۴-۲) 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 دایر 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 به‌وجود 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، به‌تدریج موجودات کوچک خاکزی (میکروارگانیسم‌ها) از بین می‌روند و هوموس خاک تلف می‌شود. بنابراین، با از بین رفتن هوموس و موجودات زنده، حاصلخیزی خاک به کلی از دست می‌رود.

#### ۱-۴-۳) 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. به‌طور 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.

#### ۱-۴-۲-۴) اثرات فرسایش بر سلامتی انسان

ذرات ریزی که در اثر فرسایش (به‌ویژه فرسایش بادی) انتقال می‌یابند، خطرات عمده‌ای را برای سلامتی انسان به بار می‌آورند. ذراتی که در اندازه‌ی سیلت می‌باشند، به‌طور معمول، توسط موهای بینی تصفیه می‌شوند و یا در لایه‌ی گِردار 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)<sup>۱</sup> باشند که با ورود آن‌ها به دستگاه تنفسی، ایجاد خراش‌هایی بر روی سامانه‌ی تنفسی انسان می‌کنند و موجب خونریزی‌های داخلی می‌شوند.

#### ۱-۵) حد قابل قبول فرسایش<sup>۲</sup>

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 ما در آن حد احساس می‌کنیم دیگر نایستی فرسایش را تحمل کرد، بلکه بایستی در مورد آن کاری انجام داد کجاست؟"

معمولاً به پرسش بالا، این‌طور 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

1- Palygorskite and sepiolite

2- Erosion acceptable limit

## حفاظت آب و خاک تکمیلی/۱۲

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 میلی‌متر خاک سطحی تشکیل شود (بنت، ۱۹۳۹). این مدت برای وقتی که بهم خوردگی، هوادیدگی و شست‌وشوی خاک با عملیات تهیه‌ی زمین، سرعت می‌گیرند به حدود ۳۰ سال تقلیل می‌یابد. سرعت تشکیل ۲۵ میلی‌متر خاک در طول ۳۰ سال، تقریباً برابر با ۱۲/۵ تن در هکتار در سال می‌باشد و این رقمی است که اغلب به‌عنوان حدی که فرسایش نبایستی از آن بیشتر شود، پذیرفته شده است. در واقع، منظور از فرسایش قابل قبول، عبارت از حداکثر مقدار خاکی است که هر سال می‌تواند به‌وسیله‌ی فرسایش در یک خاک معین، بدون تأثیر در توان تولید درازمدت آن خاک به هدر رود. مقدار فرسایش قابل قبول، در حال حاضر نه بر اساس اطلاعات دقیق پژوهشی، بلکه بر مبنای بهترین قضاوت پژوهشگران صاحب‌نظر 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 خاک‌رخی از یک خاک عمیق با حاصلخیزی یکسان در تمام سطوح تشکیل شده باشد، از دست دادن ۲۵ میلی‌متر خاک در طول ۳۰ سال، خطر جدی در بر ندارد. حال آنکه از دست رفتن همین مقدار خاک از خاک‌رخ تشکیل‌شده از چند سانتی‌متر خاک بر روی صخره‌های سخت، فاجعه‌آمیز است. بدین ترتیب، ارقامی که به‌عنوان حد قابل قبول فرسایش، مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌ندرت از ۱۲/۵ تن در هکتار در سال بالاتر هستند. برای مثال، در خاک‌های آمریکا، ارقام بین ۲/۵ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال متداول می‌باشند. در آفریقای مرکزی، رقم ۱۰ تن در هکتار در سال برای خاک‌های شنی و ۱۲/۵ تن در هکتار در سال برای خاک‌های رسی به کار می‌رود.

در هر حال، با توجه به حد قابل قبول فرسایش، نه تنها می‌توان به‌منظور 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 را 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.

#### حفاظت آب و خاک تکمیلی/۱۴

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.

### ۷-۱) 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 روبرو می‌باشند، مناطقی هستند که در آن‌ها شکل زمین و خاک، نتیجه‌ی اقلیم‌های گذشته<sup>۱</sup> 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

---

1- Paleoclimate

اثر فرسایش در مملکت ما، چندین برابر بیش از میانگین آن در کشورهای آمریکایی و اروپایی است. به عنوان نمونه، بر اساس گزارش سازمان ملل (۱۹۹۹)، متوسط میزان فرسایش در ایران، حدود ۲۰ تن در هکتار در سال می باشد؛ در حالی که این عدد برای قاره های آسیا، آمریکا و اروپا، به ترتیب، ۳/۸، ۰/۹ و ۰/۵ تن در هکتار در سال می باشد. اسماعیلی وردنجانی و همکاران (۲۰۰۲) نیز سرعت هدررفت خاک در ایران را حدود ۲۴ تا ۴۰ تن در هکتار در سال تخمین زده اند و بیان نموده اند که این مقدار فرسایش، در مقایسه با مقدار فرسایش در کل جهان که حدود ۲ تا ۵ تن در هکتار در سال می باشد؛ اختلاف فاحش دارد. از طرفی، باید توجه داشت که فرسایش خاک در ایران، یک روند صعودی دارد و متوسط سالیانه ی تلفات خاک ناشی از فرسایش، رشد قابل توجهی در سال های اخیر داشته است. یکی از اساسی ترین مسایلی که باعث فرسایش خاک در ایران (و البته در جهان) شده است، مسأله ی سیلاب ها می باشد. جنگل ها در طی قرن ها، موجب پایداری خاک و ذخیره سازی آب و رونق فعالیت های گوناگون کشاورزی بوده اند؛ ولی به مرور و با از میان رفتن تدریجی جنگل ها و پوشش های گیاهی، جاری شدن سیلاب بیشتر شده است. هنگامی که پوشش جنگلی بر اثر قطع بی رویه، حالت مناسب و متراکم خود را از دست می دهد، خاک آن منطقه به علت کمبود شاخ و برگ درختان و فاصله ی ایجاد شده بین آن ها، در برابر باران های شدید، بی دفاع می ماند و مقاومت خود را از دست می دهد؛ به گونه ای که با کمترین بارش تند، شدیدترین سیلاب ها را به وجود می آورد. با از بین رفتن پوشش گیاهی، علاوه بر شسته شدن خاک و جاری شدن روان آب، نفوذپذیری خاک از دست می رود. پیامد ایجاد روان آب و عدم نفوذ آب در خاک، پایین رفتن سفره های آب زیرزمینی است که اصلی ترین منبع آبیاری گیاهان در مناطق خشک محسوب می گردند. به مرور زمان، میزان آب و خاک موجود، به حدی کاهش خواهد یافت که یک کشاورز نمی تواند مایحتاج روزانه ی خود را به دست آورد. از اینرو، پدیده ی مهاجرت به شهرها شدت بیشتری خواهد گرفت که پیامدهای خاص خود را به دنبال خواهد داشت. متأسفانه در کشور ایران، پدیده ی تخریب جنگل ها، روند سریعی را در پیش گرفته است. عریانی بیش از حد دامنه ی شمالی کوه های البرز که در روزگاری نه چندان دور، پوشیده از جنگل و بیشه بوده است، اکنون به خاطر بی توجهی، در معرض نابودی کامل قرار گرفته است و فرسایش خاک، تراکم حرارتی ناشی از تغییرات جوی، کاهش رطوبت و از همه مهم تر، تقلیل و نابودی پوشش گیاهی، از پیامدهای نامطلوب این بی رحمی انسان نسبت به طبیعت اطراف خود است.