


# حفاظت آب و خاک

مدرس: زهره ابراهیمی خوسفی



# 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" 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 نموده است که مقدار فرسایش در ایران در سال ۱۳۹۰ به ۴/۵ میلیارد تن 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 فقه‌رایی 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.

## ۱-۲) 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.

## ۱-۳) 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

### 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 اندازه‌ای زیاد شوند که خود باعث افزایش تلفات خاک گردند. به منظور 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 به صورت خزش و جهش منتقل می‌کند، موجب ساییده شدن (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.

### ۱-۳-۱) 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.

### ۱-۳-۱) 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 موربانه از جمله موجوداتی هستند که موجب به‌هم خوردن و افزایش هوادیدگی و اکسیداسیون خاک می‌شوند و به این ترتیب، پدیده‌ی تبدیل صخره‌های مقاوم به خاک قابل فرسوده‌شدن را سرعت می‌بخشند.

یکی از مهم‌ترین عوامل فرسایش، انسان می‌باشد. بشر با دخالت‌های مستقیم و غیرمستقیم خود می‌تواند اثر تشدیددی 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 به‌هم خوردن و هوادیدگی خاک می‌گردد. با این عمل، در حقیقت، تمام پدیده‌های فیزیکی طبیعت که فرسایش نیز یکی از آن‌ها است، تشدید می‌شوند.

### ۱-۳-۱) 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. به‌عنوان مثال می‌توان از ورقه‌ورقه

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، تراس‌بندی 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، به طوری که کشاورزان مجبور شده‌اند تولید محصولات غذایی را برای رفع چنین نیازهایی، به بیش از دو برابر برسانند. در این راستا، بسیاری از افراد، به واسطه‌ی 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، 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 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.

### ۱-۴) اثرات فرسایش

فرسایش، علاوه‌بر 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" 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.

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 برگ‌ی 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 (اسمعیلی 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

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 (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.

#### 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 سمی 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 نبایستی 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

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، هواپدگی 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 افریقای 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 کلوئیدهای 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.

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، روسیه 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 کویری شدن 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


اثر فرسایش در مملکت ما، چندین برابر بیش از میانگین آن در کشورهای آمریکایی و اروپایی است. به‌عنوان نمونه، بر اساس گزارش سازمان ملل (۱۹۹۹)، متوسط میزان فرسایش در ایران، حدود ۲۰ تن در هکتار در سال می‌باشد؛ در حالی که این عدد برای قاره‌های آسیا، آمریکا و اروپا، به ترتیب، ۳/۸، ۰/۹ و ۰/۵ تن در هکتار در سال می‌باشد. اسماعیلی وردنجانی و همکاران (۲۰۰۲) نیز سرعت هدررفت خاک در ایران را حدود ۲۴ تا ۴۰ تن در هکتار در سال تخمین زده‌اند و بیان نموده‌اند که این مقدار فرسایش، در مقایسه با مقدار فرسایش در کل جهان که حدود ۲ تا ۵ تن در هکتار در سال می‌باشد؛ اختلاف فاحش دارد. از طرفی، باید توجه داشت که فرسایش خاک در ایران، یک روند صعودی دارد و متوسط سالیانه‌ی تلفات خاک ناشی از فرسایش، رشد قابل توجهی در سال‌های اخیر داشته است. یکی از اساسی‌ترین مسائلی که باعث فرسایش خاک در ایران (و البته در جهان) شده است، مسأله‌ی سیلاب‌ها می‌باشد. جنگل‌ها در طی قرن‌ها، موجب پایداری خاک و ذخیره‌سازی آب و رونق فعالیت‌های گوناگون کشاورزی بوده‌اند؛ ولی به مرور و با از میان رفتن تدریجی جنگل‌ها و پوشش‌های گیاهی، جاری شدن سیلاب بیشتر شده است. هنگامی که پوشش جنگلی بر اثر قطع بی‌رویه، حالت مناسب و متراکم خود را از دست می‌دهد، خاک آن منطقه به‌علت کمبود شاخ و برگ درختان و فاصله‌ی ایجادشده بین آن‌ها، در برابر باران‌های شدید، بی‌دفاع می‌ماند و مقاومت خود را از دست می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که با کمترین بارش تند، شدیدترین سیلاب‌ها را به‌وجود می‌آورد. با از بین رفتن پوشش گیاهی، علاوه بر شسته شدن خاک و جاری شدن روان‌آب، نفوذپذیری خاک از دست می‌رود. پیامد ایجاد روان‌آب و عدم نفوذ آب در خاک، پایین رفتن سفره‌های آب زیرزمینی است که اصلی‌ترین منبع آبیاری گیاهان در مناطق خشک محسوب می‌گردند. به مرور زمان، میزان آب و خاک موجود، به حدی کاهش خواهد یافت که یک کشاورز نمی‌تواند مایحتاج روزانه‌ی خود را به‌دست آورد. از اینرو، پدیده‌ی مهاجرت به شهرها شدت بیشتری خواهد گرفت که پیامدهای خاص خود را به دنبال خواهد داشت. متأسفانه در کشور ایران، پدیده‌ی تخریب جنگل‌ها، روند سریعی را در پیش گرفته است. عریانی بیش از حد دامنه‌ی شمالی کوه‌های البرز که در روزگاری نه‌چندان دور، پوشیده از جنگل و بیشه بوده است، اکنون به خاطر بی‌توجهی، در معرض نابودی کامل قرار گرفته است و فرسایش خاک، تراکم حرارتی ناشی از تغییرات جوی، کاهش رطوبت و از همه مهم‌تر، تقلیل و نابودی پوشش گیاهی، از پیامدهای نامطلوب این بی‌رحمی انسان نسبت به طبیعت اطراف خود است.

## ۸-۱) پرسش

- ۱- چهار نوع خسارت مهم را که فرسایش خاک در مناطق خارج از محل وقوع اصلی خود به بار می‌آورد، نام ببرید.
- ۲- منظور از حد قابل قبول فرسایش چیست و مقدار معمول آن چقدر است؟
- ۳- چه تفاوت‌هایی در خصوصیات یک خاک با فرسایش‌پذیری زیاد نسبت به خاکی که دارای فرسایش‌پذیری کم است، انتظار دارید؟
- ۴- ارتباط رشد روزافزون جمعیت را با فرسایش خاک توضیح دهید.
- ۵- انرژی اولیه برای سست‌شدن بستر سنگ و خاک و به حرکت در آمدن آن‌ها می‌تواند تحت تأثیر نیروهای مختلف تأمین گردد. این نیروها را نام ببرید و به اختصار توضیح دهید.
- ۶- نقش پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش خاک را توضیح دهید.
- ۷- مراحل سه‌گانه‌ی فرسایش خاک را نام ببرید و این مراحل را در مورد بادرفتها بررسی نمایید.
- ۸- دو مثال از تأثیر فرسایش خاک بر سلامتی انسان ذکر کنید.
- ۹- به نظر شما چرا تلفات خاک حاصل از فرسایش در ایران، چندین برابر بیش از میانگین آن در کشورهای آمریکایی و اروپایی است؟

# 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

### ۱-۲) 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"<sup>۱</sup> گفته می‌شود و در صورتی که عامل انتقال باد باشد، "فرسایش بادی"<sup>۲</sup> 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<sup>۱</sup>

ب) فرسایش تشدیدشونده<sup>۲</sup>

### ۲-۲-۱) فرسایش طبیعی

فرسایش طبیعی که "فرسایش عادی"<sup>۳</sup> 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

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 برهنه گذارند، 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 جدا شدن و انتقال ذرات، به "فرسایش‌پذیری خاک"<sup>۱</sup> 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،

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.

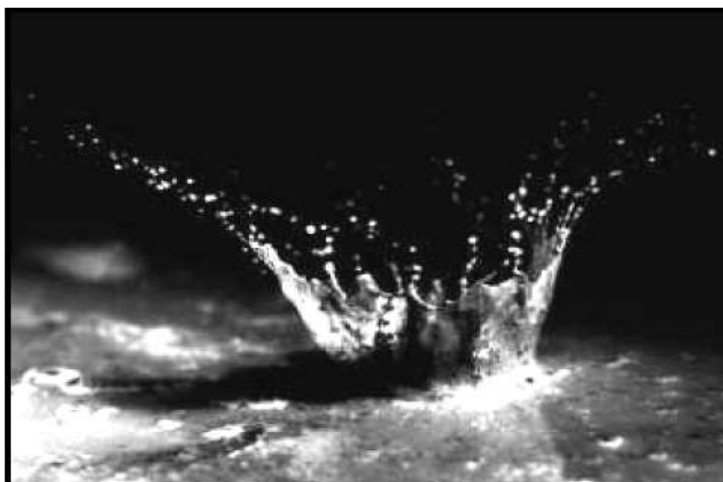
#### ۲-۴-۱) فرسایش بارانی (پاشمانی یا پرتابی)<sup>۱</sup>

فرسایش بارانی در اثر برخورد قطره‌های باران به سطح خاک ایجاد می‌گردد (شکل ۱-۲). 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

و ضمن پرتاب، مقداری از ذرات متلاشی شده‌ی قبلی را نیز به هوا پرتاب می‌کنند. به‌طور معمول، سرعت حرکت این ذرات، حدود دو برابر سرعت قطره‌های باران است. خیس شدن خاک در اثر ادامه‌ی بارندگی، سبب کم شدن نیروی برشی خاک و کاهش چسبندگی بین ذرات خاک می‌شود و به متلاشی شدن ذرات در اثر باران کمک می‌کند.



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

## ۲-۴-۲) فرسایش سطحی یا ورقه‌ای<sup>۱</sup>

این فرسایش، در تمام سطح زمین تأثیرگذار می‌باشد و به همین علت، کمتر محسوس است. این نوع تخریب در اثر آبدوی (روان آب یا هرزآب) حاصل از باران یا ذوب برف ایجاد می‌شود و ذراتی که پیش از این توسط عواملی مانند ضربه‌ی قطره‌های باران جدا شده‌اند، حمل می‌گردند. فرسایش ورقه‌ای را می‌توان با مشاهده‌ی گل‌آلودگی آبی که از مزارع کشاورزی خارج می‌شود، تشخیص داد (شکل ۲-۲). در حالت شدید، ظهور لکه‌های سفید و روشن در سطح خاک، بیانگر عدم یکنواختی عمق خاک و هدررفت افق سطحی در قسمت‌های روشن‌تر است؛ زیرا قسمت رویی خاک، به‌علت دارا بودن مواد آلی، غالباً تیره‌رنگ می‌باشد. عدم یکنواختی رشد گیاهان (نقاط کچلی<sup>۲</sup>)، وجود سنگ‌ریزه‌ی زیاد در سطح خاک و ایجاد سنگ‌فرش بیابانی<sup>۱</sup>،

---

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.



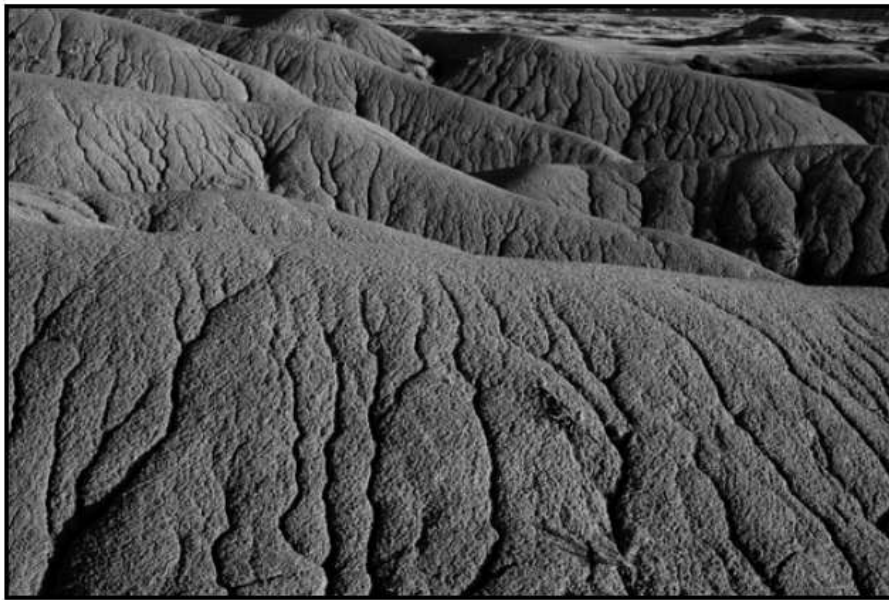
شکل (۲-۲): آب گل‌آلود حاصل از فرسایش سطحی در اراضی کشاورزی

## ۲-۴-۳) فرسایش شیاری<sup>۲</sup>

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 یک‌سری خطوط موازی ظاهر شود که ابتدا کم‌عمق هستند، ولی به سرعت عمیق‌تر می‌شوند. فرسایش شیاری و شکل پیشرفته‌تر آن (که فرسایش آبراهه‌ای<sup>۳</sup> 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

به‌طور معمول، در خاک‌های زراعی، این فرسایش در داخل شیارهای حاصل از شخم به وجود می‌آید. در اراضی شیب‌دار (مانند اراضی کشت دیم)، به‌خصوص اگر شخم در جهت شیب باشد، فرسایش شیاری 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، به‌طور معمول، در اثر عملیات خاک‌ورزی در اراضی کشاورزی، شیارها محو می‌شوند.



شکل (۲-۳): نمونه‌ای از فرسایش شیاری

## ۲-۴-۴) فرسایش بین شیاری<sup>۱</sup>

فرسایش سطحی موجود در بین مناطق دارای فرسایش شیاری، به فرسایش بین شیاری 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)<sup>۱</sup>

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  $1/3$  متر عرض و  $2/3$  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<sup>۲</sup> یا رَمپ<sup>۳</sup>، 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



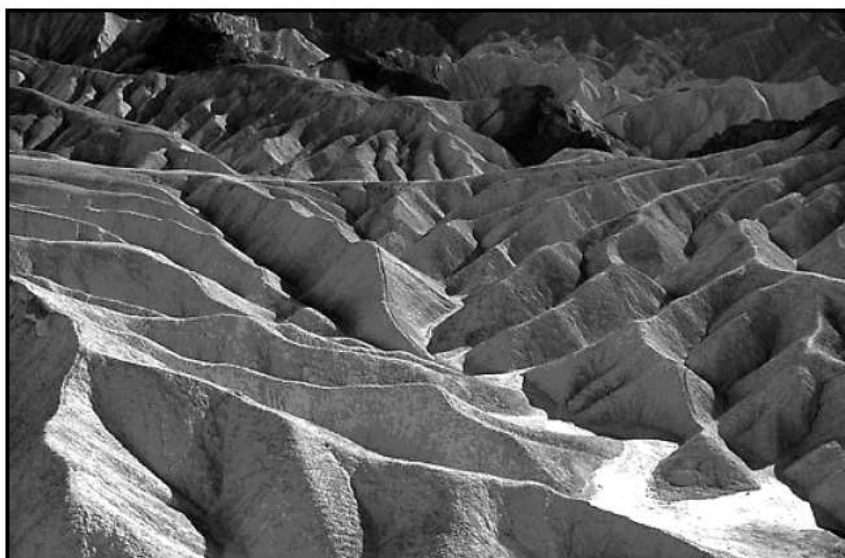
شکل (۴-۲): نمونه‌ای از یک فرسایش خندقی

#### ۲-۴-۶) فرسایش هزار دره<sup>۱</sup>

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<sup>۱</sup>

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 پایین دست 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)<sup>۲</sup>

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.

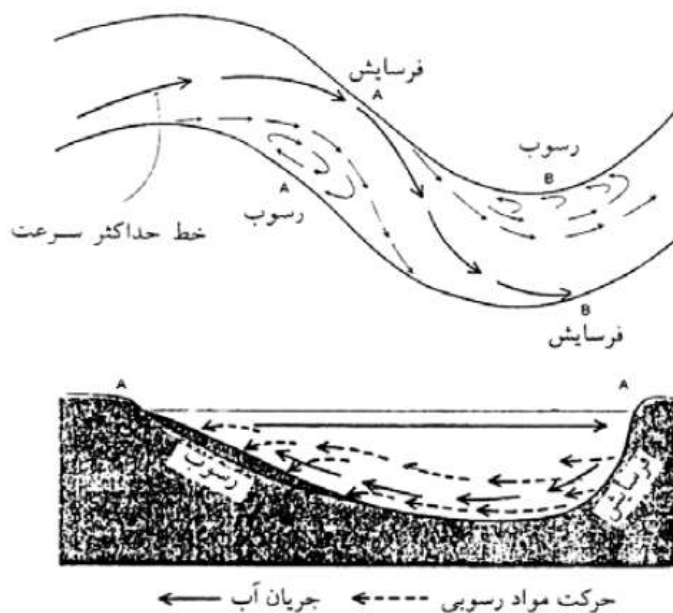
---

1- Torrent erosion  
2- Stream-bank erosion

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)<sup>۱</sup>

در فرسایش توده‌ای، قسمتی از خاک دامنه‌ی کوه‌ها در اثر نیروی ثقل، به طرف 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<sup>۲</sup>

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) زمین لغزش<sup>۳</sup>

زمین لغزش، به معنی لغزش توده‌های خاک و سنگ در اثر نیروی ثقل به سمت پایین دست 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 به صورت کند و آرام اتفاق می‌افتد. وجود سه عامل برای زمین لغزش ضروری به نظر می‌رسند:

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

ب) اشباع شدن لایه(های) سطحی در اثر وجود آب

پ) وجود شیب زیاد

---

1- Massive or internal erosion

2- Soil falling

3- Landslide



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

## ۲-۴-۹-۳) جریان گل<sup>۱</sup>

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

## ۲-۴-۱۰) فرسایش تونلی (زیرزمینی)<sup>۱</sup>

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)<sup>۲</sup>

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

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



شکل (۲-۱۱): نمونه‌ای از فرسایش پاستنگی

## ۲-۴-۱۲) فرسایش حاصلخیزی<sup>۱</sup>

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 کلونیدی 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)<sup>۲</sup>

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 کلوئیدی می‌تواند لایه‌ای با نفوذپذیری کم در محل رشد ریشه‌ی گیاه ایجاد کند.

### ۲-۴-۱۴) فرسایش گِلخرابی<sup>۱</sup>

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<sup>۲</sup>

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)<sup>۳</sup>

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<sup>۴</sup> در سازندهای سنگ آهک<sup>۵</sup> که به دلیل حل شدن آن‌ها توسط دی‌اکسید کربن 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)<sup>۱</sup>

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