دانشگاه پیام نور

حفاظت آب و خاک تکمیلی

مؤلفین:

دکتر محمدحسن صالحی

دکتر عیسی اسفندیارپور بروجنی

مهندس رضا مهاجر

مهندس محسن باقری بُداغ‌آبادی

www.PnuNews.com

فهرست مطالب

پیش‌گفتار ..... نُه

فصل اول: مفاهیم و تعاریف اولیه ۱

۱-۱) مقدمه ۱

۱-۲) تعریف فرسایش ۳

۱-۳) عوامل مؤثر بر فرسایش ۳

۱-۳-۱) عامل انرژی ۴

۱-۳-۲) عامل مقاومت ۶

۱-۳-۳) عامل حفاظت ۶

۱-۴) اثرات فرسایش ۸

۱-۴-۱) اثرات فرسایش در محل ۸

۱-۴-۲) اثرات فرسایش در خارج از محل ۹

۱-۵) حد قابل قبول فرسایش ۱۱

۱-۶) مراحل مختلف فرسایش ۱۳

۱-۶-۱) جدا شدن ذرات از توده‌های اصلی خاک ۱۳

۱-۶-۲) انتقال ذرات جداشده ۱۳

۱-۶-۳) تجمع و انباشته‌شدن مواد ۱۳

۱-۷) مهم‌ترین مناطق مستعد فرسایش ۱۴

۱-۸) پرسش ۱۶

فصل دوم: انواع فرسایش آبی ۱۷

۲-۱) تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس عوامل فرسایشی ۱۷

۲-۲) تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس تأثیر طبیعت و دخالت انسان ۱۸

۲-۲-۱) فرسایش طبیعی ۱۸

۲-۲-۲) فرسایش تشدیدشونده ۱۸

۲-۳) عوامل مؤثر بر فرسایش آبی ۱۹

۲-۳-۱) بارندگی ۱۹

۲-۳-۲) شیب زمین ۱۹

۲-۳-۳) پوشش گیاهی ۲۰

۲-۳-۴) خاک ۲۰

۲-۳-۵) نقش انسان ۲۱

۲-۴) انواع فرسایش آبی ۲۱

www.PnuNews.com

۲-۴-۱) فرسایش بارانی (پاشمانی یا پرتابی)..... ۲۱
۲-۴-۲) فرسایش سطحی یا ورقه‌ای..... ۲۲
۲-۴-۳) فرسایش شیاری..... ۲۳
۲-۴-۴) فرسایش بین شیاری..... ۲۴
۲-۴-۵) فرسایش خندقی (گالی)..... ۲۵
۲-۴-۶) فرسایش هزار درّه..... ۲۶
۲-۴-۷) فرسایش سیلابی..... ۲۷
۲-۴-۸) فرسایش بالارونده (کنار رودخانه‌ای)..... ۲۷
۲-۴-۹) فرسایش توده‌ای (داخلی)..... ۲۹
۲-۴-۱۰) فرسایش تونلی (زیرزمینی)..... ۳۱
۲-۴-۱۱) فرسایش پاسنگی (ستونی)..... ۳۱
۲-۴-۱۲) فرسایش حاصلخیزی..... ۳۲
۲-۴-۱۳) فرسایش عمودی (درونی)..... ۳۲
۲-۴-۱۴) فرسایش گِلخرابی..... ۳۳
۲-۴-۱۵) فرسایش ساحلی..... ۳۳
۲-۴-۱۶) فرسایش شیمیایی (شبه‌کارستی یا انحلالی)..... ۳۳
۲-۴-۱۷) فرسایش مکانیکی (حاصل از شخم)..... ۳۴
۲-۵) پرسش..... ۳۵

فصل سوم: مدل‌سازی فرآیند فرسایش خاک ۳۶
۳-۱) مقدمه..... ۳۶
۳-۲) تقسیم‌بندی مدل‌های فرسایشی ۳۷
۳-۲-۱) انواع مدل‌ها از دیدگاه فرآیند محاسباتی..... ۳۷
۳-۲-۲) انواع مدل‌ها از دیدگاه ساختار فرمولی ۳۸
۳-۲-۳) انواع مدل‌ها از دیدگاه ساختار مکانی..... ۴۱
۳-۲-۴) انواع مدل‌ها از دیدگاه پایه‌ی نظری (مفهومی)..... ۴۱
۳-۳) انتخاب مدل‌ها برای استفاده در مطالعات ۴۳
۳-۴) مدل‌های فرسایش خاک ۴۴
۳-۴-۱) معادله‌ی جهانی فرسایش خاک (USLE)..... ۴۴
۳-۴-۲) مدل جهانی اصلاح‌شده‌ی هدررفت خاک (RUSLE) ۶۹
۳-۴-۳) مدل جهانی تعدیل‌یافته‌ی هدررفت خاک (MUSLE) ۷۱
۳-۴-۴) مدل پسیاک (PSIAC) ۷۳
۳-۴-۵) روش سازمان مدیریت اراضی آمریکا (BLM) ۸۶

www.PnuNews.com

۳-۴-۶) مدل EPM ۸۹
۳-۴-۷) مدل WEPP ۹۶
۳-۴-۸) مدل ANSWERS ۹۷
۳-۴-۹) مدل EUROSEM ۹۸
۳-۴-۱۰) مدل SWAT ۹۹
۳-۴-۱۱) ارزیابی مدل‌های فرسایش ۱۰۰
۳-۵) پرسش ۱۰۱

فصل چهارم: حفاظت خاک ۱۰۲
۴-۱) حفاظت خاک ۱۰۲
۴-۱-۱) حفاظت غیرمکانیکی ۱۰۳
۴-۱-۲) حفاظت مکانیکی ۱۲۳
۴-۲) مبارزه با فرسایش خندقی (گالی) ۱۳۷
۴-۲-۱) انواع بند ۱۳۸
۴-۲-۲) محاسبات مربوط به بندها ۱۴۱
۴-۳) مبارزه با فرسایش کنار رودخانه‌ای (بالارونده) ۱۴۳
۴-۳-۱) تثبیت کناره‌های رودخانه به روش مستقیم ۱۴۴
۴-۳-۲) تثبیت کناره‌های رودخانه به روش غیرمستقیم ۱۴۵
۴-۴) مبارزه با ریزش کناره‌ها و فرسایش توده‌ای ۱۴۸
۴-۵) پرسش ۱۵۱

فصل پنجم: فرسایش بادی ۱۵۲
۵-۱) مقدمه ۱۵۲
۵-۲) اصول و علل ایجاد فرسایش بادی ۱۵۳
۵-۲-۱) خصوصیات خاک ۱۵۳
۵-۲-۲) پوشش گیاهی ۱۵۵
۵-۲-۳) پستی و بلندی (توپوگرافی) ۱۵۶
۵-۲-۴) آب و هوا ۱۵۶
۵-۳) نحوه‌ی انتقال ذرات خاک ۱۵۸
۵-۳-۱) معلق ۱۵۸
۵-۳-۲) جهشی ۱۵۹
۵-۳-۳) خزشی ۱۵۹
۵-۴) نتایج حاصل از عملکرد باد ۱۶۰

www.PnuNews.com

۵-۴-۱) شکل‌های اراضی فرسایشی حاصل از باد ۱۶۰
۵-۴-۲) شکل‌های اراضی رسوبی حاصل از باد ۱۶۲
۵-۵) کنترل فرسایش بادی ۱۶۴
۵-۵-۱) استفاده‌ی صحیح از زمین ۱۶۵
۵-۵-۲) حفظ رطوبت خاک ۱۶۵
۵-۵-۳) استقرار پوشش گیاهی ۱۶۵
۵-۵-۴) استفاده از بقایای محصول ۱۶۶
۵-۵-۵) ایجاد زبری در سطح خاک ۱۶۷
۵-۵-۶) انجام شخم اضطراری ۱۶۷
۵-۵-۷) انجام کشت نواری ۱۶۸
۵-۵-۸) احداث بادشکن ۱۶۸
۵-۵-۹) استفاده از مالچ ۱۷۵
۵-۶) پرسش ۱۸۰

کتابنامه ۱۸۱

www.PnuNews.com

پیشگفتار

استفاده‌ی بیش از حد از منابع طبیعی، به‌واسطه‌ی 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 مد نظر 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 در آمده‌اند و هر یک، جنبه‌های مختلف

www.PnuNews.com

فرسایش را از دیدگاه‌های متفاوت، مد نظر 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 داور(ان) محترم، به‌خاطر بازخوانی کتاب و ارایه‌ی نظرات سازنده، تشکر و قدردانی نماییم. 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 داشته‌اند و توافق نموده‌اند که به‌طور مساوی از مزایای مادی و معنوی آن برخوردار گردند.

محمّدحسن صالحی
عیسی اسفندیارپور بروجنی
رضا مهاجر
محسن باقری بُداغ‌آبادی
بهار ۱۳۹۰

www.PnuNews.com

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"[1] است. امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری جدی برای رفاه انسان

1- Soil erosion

www.PnuNews.com

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 آبگیری 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

www.PnuNews.com

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.

۱-۲) تعریف فرسایش

کلمه‌ی فرسایش (اِروژن)[1] از ریشه‌ی لاتین "اِرودِری"[2] 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 پَست‌تر 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

www.PnuNews.com

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.

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 سالیانه‌ی 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 سالیانه، بیشتر از ۳۰۰ میلی-متر 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. 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

www.PnuNews.com

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

۱-۳-۱-۳) 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.

۱-۳-۱-۴) 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 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 تشدیدی و یا تعدیلی بر فرسایش خاک داشته باشد که البته آمارهای ارایه-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.

۱-۳-۱-۵) 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. به‌عنوان مثال می‌توان از ورقه‌ورقه

www.PnuNews.com

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،

www.PnuNews.com

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 پسمانده‌های زراعت قبلی، سطح خاک را پوشش دهند.

www.PnuNews.com

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"[1] و "اثرات بیرونی"[2] 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

www.PnuNews.com

از جمله اختلال‌های شیمیایی و تغذیه‌ای مربوط به فرسایش می‌توان کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی[1] 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 (اسمعلی 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

www.PnuNews.com

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

۱-۴-۲-۲) 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.

۱-۴-۲-۳) اثرات فرسایش بر کاهش عملکرد گیاه

کمّی 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

www.PnuNews.com

گیرد. اثرات فرسایش بر عملکرد گیاه، به‌صورت 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 کُرک‌دار 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 این‌صورت، 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)[1] 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[2]

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

www.PnuNews.com

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 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.

www.PnuNews.com

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 کَنده 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 کَنده 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.

www.PnuNews.com

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 روبرو می‌باشند، مناطقی هستند که در آن‌ها شکل زمین و خاک، نتیجه‌ی اقلیم‌های گذشته[1] 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

www.PnuNews.com

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 مسایلی که باعث فرسایش خاک در ایران (و البته در جهان) شده است، مسأله‌ی سیلاب‌ها می‌باشد. جنگل-ها 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 نه چندان 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.

www.PnuNews.com

۱-۸) 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؟

www.PnuNews.com

فصل دوم

انواع فرسایش آبی

اهداف

در پایان فصل، دانشجو با مفاهیم زیر آشنا می‌شود:

۱. تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس عوامل فرسایشی

۲. تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس تأثیر طبیعت و دخالت انسان

۳. عوامل مؤثر بر فرسایش آبی

۴. انواع فرسایش آبی

۲-۱) تقسیم‌بندی انواع فرسایش بر اساس عوامل فرسایشی

همان‌طوری که در فصل قبل نیز گفته شد، در فرآیند فرسایش، ذرات خاک، توسط عوامل فرساینده از بستر اصلی خود جدا می‌شوند و توسط یکی از عوامل انتقال‌دهنده به مکان دیگری حمل می‌گردند و در نهایت، در مکان جدیدی رسوب می‌کنند. در طبیعت، دو عامل اصلی انتقال‌دهنده‌ی ذرات خاک، آب و باد هستند. چنانچه عامل انتقال‌دهنده‌ی ذرات آب باشد، به فرسایش حاصله، "فرسایش آبی"[1] گفته می‌شود و در صورتی که عامل انتقال باد باشد، "فرسایش بادی"[2] نامیده می‌شود.

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

1- Water erosion
2- Wind erosion

www.PnuNews.com

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 بر هم زدن تعادل طبیعت (تشکیل خاک به مقدار کم و فرسایش خاک به مقدار زیاد) و در نتیجه، باعث فرسایش شدید خاک شده و در بسیاری از نقاط، آن را به ویرانی کشانیده است. بنابراین، فرسایش را از این نظر می‌توان به دو گروه مختلف تقسیم نمود:

الف) فرسایش طبیعی[۱]

ب) فرسایش تشدیدشونده[۲]

۲-۲-۱) فرسایش طبیعی

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

www.PnuNews.com

ساختمان خاک باعث تراکم خاک و افزایش حجم روان‌آب می‌شود و در نتیجه، فرسایش خاک تشدید می‌گردد. البته حالت‌های استثنایی و نادری هم وجود دارند که دخالت بشر، موجب کاهش فرسایش طبیعی می‌گردد. به‌عنوان مثال، وقتی که صحراها احیا می‌شوند، نواحی خشک به‌وسیله‌ی آبیاری معتدل می‌گردند و یا جنگل‌ها ایجاد می‌شوند؛ اما این نوع فعالیت‌ها 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 می‌شود و در فصل سوم، مدل‌سازی فرآیند فرسایش، مورد بحث قرار می‌گیرد. در واقع، شناخت این عوامل برای کنترل فرسایش آبی ضرورت دارد که به همین دلیل، در ادامه‌ی مطالب کتاب، مهم‌ترین این عوامل تشریح شده‌اند.

۲-۳-۱) بارندگی

مهم‌ترین ویژگی‌های بارندگی که از نظر فرسایش‌پذیری، حایز اهمیت هستند؛ مقدار بارندگی، جرم قطره‌ها، اندازه یا قطر ذرات، جهت ریزش قطره‌ها، شدت بارندگی و فصل بارش می‌باشند. حداکثر قطر ظاهری قطره‌ها، بین پنج تا شش میلی‌متر است. سرعت قطره‌های باران نیز به اندازه‌ی قطر آن‌ها بستگی دارد. سرعت در حد فاصل قطره‌ی باران در حال سقوط آزاد، تا هنگامی که این نیرو با نیروی مقاومت اصطکاک هوا برابر گردد، افزایش می‌یابد. در این موقع، قطره با سرعت نهایی خود سقوط خواهد کرد. بارندگی زیاد در صورتی که ریزش آن آرام باشد، فرسایش زیادی ایجاد نمی‌کند. این در حالی است که باران‌های شدید، حتی به مقدار کم، موجب فرسایش زیاد می‌شوند؛ زیرا با افزایش شدت، قطر ذرات بیشتر می‌شود و انرژی جنبشی آن‌ها زیادتر می‌گردد. لازم به ذکر است که چگونگی محاسبه‌ی انرژی جنبشی باران در فصل سوم بحث شده است.

۲-۳-۲) شیب زمین

شیب زیاد باعث تسریع جریان آب می‌شود و به همان نسبت، میزان فرسایش و هدر رفتن آب، افزایش پیدا می‌کند. طول دامنه نیز اهمیت دارد؛ چون هر قدر دامنه‌ی شیب، طول

www.PnuNews.com

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 می-باشد؛ 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 جداشدن و انتقال ذرات، به "فرسایش‌پذیری خاک"[1] معروف است و آن را با K نشان می‌دهند (بریان، ۲۰۰۰). به‌عنوان مثال، خاک‌های رسی و یا ماسه‌ای، فرسایش‌پذیری کمتری نسبت به خاک‌های سیلتی‌لومی دارند. خاک‌های همراه با مواد آلی، در برابر فرسایش مقاوم‌تر هستند؛ زیرا نفوذپذیری آن‌ها به‌دلیل ساختمان مناسب، افزایش می‌یابد و در نتیجه، میزان روان‌آب را کاهش می‌دهد. از مهم‌ترین خصوصیت‌های فیزیکی خاک مؤثر در میزان فرسایش، قابلیت نفوذ خاک و ثبات ساختمانی خاک می‌باشند. قابلیت نفوذ خاک به عواملی مانند ثبات ساختمانی،

1- Soil erodibility

www.PnuNews.com

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 به‌دلیل چسبندگی و شن به‌خاطر 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.

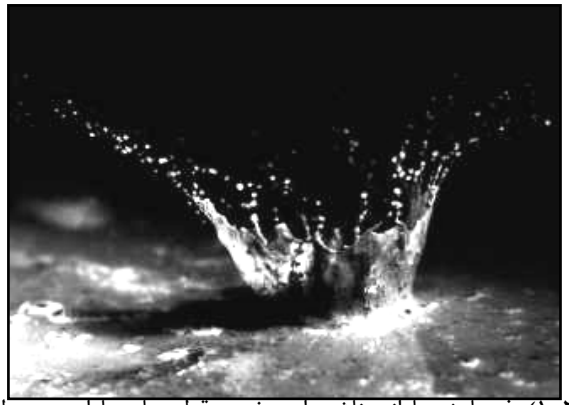
۲-۴-۱) فرسایش بارانی (پاشمانی یا پرتابی)[1]

فرسایش بارانی در اثر برخورد قطره‌های باران به سطح خاک ایجاد می‌گردد (شکل ۲-۱). قطره‌های باران پس از برخورد با خاک خشک، قسمتی از خاکدانه‌ها را خرد می‌کنند و به ذرات ریز تبدیل می‌کنند و خود جذب خاک می‌گردند. با ادامه‌ی بارندگی، خاک به‌تدریج 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

www.PnuNews.com

و ضمن پرتاب، مقداری از ذرات متلاشی‌شده‌ی قبلی را نیز به هوا پرتاب می‌کنند. به‌طور معمول، سرعت حرکت این ذرات، حدود دو برابر سرعت قطره‌های باران است. خیس‌شدن خاک در اثر ادامه‌ی بارندگی، سبب کم‌شدن نیروی برشی خاک و کاهش چسبندگی بین ذرات خاک می‌شود و به متلاشی‌شدن 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[1]

این فرسایش، در تمام سطح زمین تأثیرگذار می‌باشد و به همین علت، کمتر محسوس است. این نوع تخریب در اثر آبدوی (روان‌آب 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 کَچَلی[2])، وجود سنگ‌ریزه‌ی زیاد در سطح خاک و ایجاد سنگ‌فرش بیابانی[1]،

1- Surface or sheet erosion
2- Slick spots

www.PnuNews.com

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 به‌شدت کاهش می‌یابد.

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

۲-۴-۳) فرسایش شیاری[۲]

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

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

www.PnuNews.com

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[1]

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

www.PnuNews.com

۲-۴-۵) فرسایش خندقی (گالی)[1]

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 ⅓ متر عرض و ⅔ متر عمق در نظر گرفته‌اند. در صورتی که ابعاد شیارها از این مقادیر بیشتر باشد، به آن خندق می‌گویند (هاگت، ۲۰۰۳). فوستر (۱۹۸۲) علاوه‌بر 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[2] یا رَمپ[3]، به معنی "پلکان سراشیب" یا "سکوی شیب‌دار" اشاره نمود.

با توسعه‌ی خندق‌ها و عریض‌تر شدن آن‌ها، آب علاوه‌بر خاک سطحی، خاک زیرین را نیز از جا می‌کَنَد 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

www.PnuNews.com

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

۲-۴-۶) فرسایش هزار درّه[1]

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

www.PnuNews.com

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

۲-۴-۷) فرسایش سیلابی[1]

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

۲-۴-۸) فرسایش بالارونده (کنار رودخانه‌ای)[2]

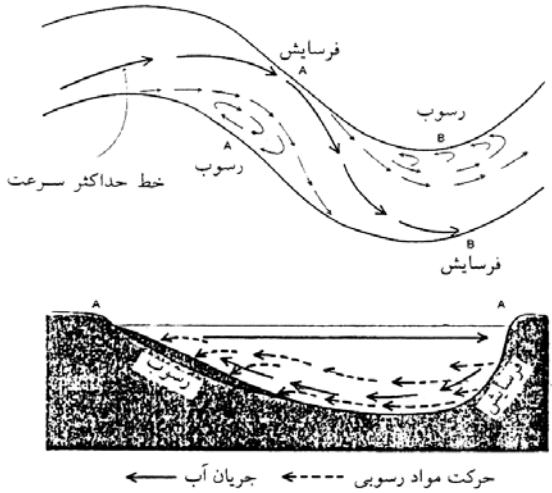
فرسایش کناری یا رودخانه‌ای (کنار رودخانه‌ای)، به‌طور معمول در دیواره‌های آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و مسیل‌ها ایجاد می‌شود (شکل ۲-۶). در قسمت‌های خارجی خمیدگی رودخانه‌ها به این علت که نیروی برشی آب زیاد می‌باشد، فرسایش کناری بیشتر است (شکل ۲-۷). در این فرسایش، جریان آب موجب شسته‌شدن اطراف مسیر جریان آب و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

1- Torrent erosion
2- Stream-bank erosion

www.PnuNews.com

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

www.PnuNews.com

۲-۴-۹) فرسایش توده‌ای (داخلی)[1]

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

۲-۴-۹-۱) ریزش خاک[2]

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

۲-۴-۹-۲) زمین‌لغزش[3]

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

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

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

پ) وجود شیب زیاد

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

www.PnuNews.com

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

۲-۴-۹-۳) جریان گل[1]

به این نوع حرکت، "بهمن گل" نیز گفته می‌شود. در این حالت، خاک همراه با آب به‌صورت گِل 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 گِل ضخیمی را ایجاد می‌کند.

شکل (۲-۹): جریان گِل در اثر ذوب‌شدن برف و یخ

1- Mud flow

www.PnuNews.com

۲-۴-۱۰) فرسایش تونلی (زیرزمینی)[1]

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

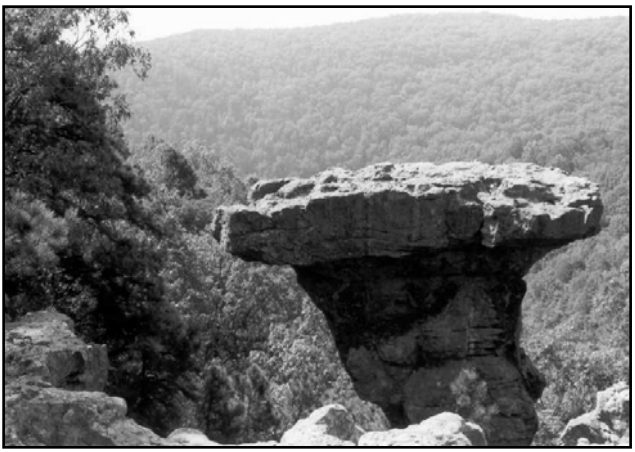
۲-۴-۱۱) فرسایش پاسنگی (ستونی)[2]

وقتی که قسمتی از یک خاک مستعد فرسایش، به‌وسیله‌ی 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

www.PnuNews.com

وجود می‌آیند (شکل ۲-۱۱). اهمیت این پاسنگ‌ها 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 پاسنگی

۲-۴-۱۲) فرسایش حاصلخیزی[1]

این فرسایش که همان از دست رفتن مواد غذایی گیاهی به‌وسیله‌ی فرسایش است، می‌تواند با میزان برداشت این مواد به‌وسیله‌ی گیاهان زراعی برابری کند. نحوه‌ی از دست رفتن مواد غذایی، برای عناصر مختلف، متفاوت است. به‌طور معمول، فسفر همراه با ذرات کلوئیدی که بر روی آن جذب شده‌اند، از دست می‌رود؛ ولی نیتروژن به فرم‌های نیتریت 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)[2]

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

www.PnuNews.com

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[1]

این فرسایش، نوعی تخریب فیزیکی است که در آن، خاکی از دست داده نمی‌شود؛ بلکه متلاشی‌شدن ساختمان خاک به‌وسیله‌ی 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[2]

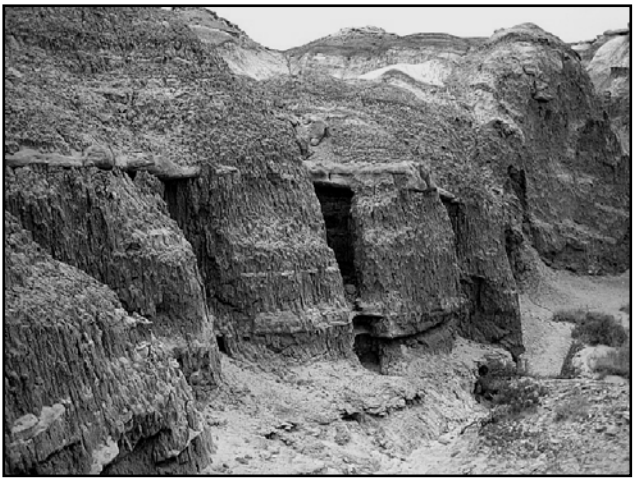
این نوع فرسایش، نوعی فرسایش طبیعی محسوب می‌شود که در اثر برخورد امواج دریا به دیواره‌ی ساحل به‌وجود می‌آید و موجب عقب‌نشینی تدریجی ساحل می‌گردد. در سواحل شنی و قلوه‌سنگی، شدت این فرسایش، بیشتر از سواحل سنگی است.

۲-۴-۱۶) فرسایش شیمیایی (شبه‌کارستی یا انحلالی)[3]

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[4] در سازندهای سنگ آهک[5] که به‌دلیل حل‌شدن آن‌ها توسط دی‌اکسیدکربن صورت می‌گیرد نیز نوعی فرسایش انحلالی محسوب می‌شود.

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

www.PnuNews.com



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

۲-۴-۱۷) فرسایش مکانیکی (حاصل از شخم)[1]

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

www.PnuNews.com

۲-۵) پرسش

۱- حداقل چهار عامل دیگر را که در فرسایش نقش دارند و در این فصل به آن‌ها اشاره نشده است، نام ببرید و بحث نمایید.

۲- به نظر شما در شرایط مشابه، کشت گیاهان ردیفی (مانند سیب‌زمینی)، فرسایش بیشتری ایجاد می‌کند یا کشت گیاهان کَرتی (مانند گندم و جو)؟ توضیح دهید.

۳- فرسایش‌پذیری خاک‌های زیر را با ذکر دلیل مقایسه کنید:

الف) خاک حاوی رس مونت‌موریلونایت زیاد، در مقابل خاک دارای کائولینیت زیاد

ب) خاک حاوی سدیم تبادلی زیاد، در مقابل خاک معمولی

پ) خاک حاوی ماده‌ی آلی زیاد، در مقابل خاک دارای ماده‌ی آلی کم

۴- تفاوت فرسایش شیاری، خندقی و کناری چیست؟

۵- فرآیند فرسایش تونلی و انحلالی را مقایسه کنید.

۶- انواع فرسایش توده‌ای را نام ببرید و با یکدیگر مقایسه نمایید.

۷- تفاوت بین فرسایش طبیعی و فرسایش تشدیدی، در مناطق خشک بیشتر است یا مناطق مرطوب؟ چرا؟

www.PnuNews.com

فصل سوم

مدل‌سازی فرآیند فرسایش خاک

اهداف

در پایان فصل، دانشجو با مفاهیم زیر آشنا می‌شود:

۱. مفهوم مدل و مدل‌سازی فرآیندها

۲. آشنایی با انواع مدل‌های فرسایش خاک

۳-۱) مقدمه

فرسایش خاک، فرآیندی پیچیده می‌باشد که اندازه‌گیری میزان حقیقی آن دشوار است. تجزیه و تحلیل روان‌آب (آبدوی)، فرسایش و رسوب، درک عمیق از فرآیندهای تولید روان‌آب و فرسایش را می‌طلبد. به‌منظور محاسبه‌ی حجم کل رسوب و فرسایش در حوزه‌های آبخیز[1]، در صورت وجود آمار و اطلاعات کافی مربوط به دبی آب و رسوب، اغلب از روش‌های آماری استفاده می‌گردد. با توجه به اینکه در بیشتر حوزه‌های آبخیز دنیا، چنین آمار و اطلاعاتی به اندازه‌ی کافی وجود ندارد، شدت فرسایش با استفاده از فناوری برآورد فرسایش (که همان مدل‌های فرسایشی هستند) ارزیابی می‌گردد.

یک مدل، ارایه‌کننده‌ی چهارچوب و رویکردی مناسب برای کسب آگاهی، مدیریت و کنترل یک فرآیند خاص می‌باشد. در واقع، بدون وجود یک مدل یا یک مفهوم نظری، هیچگونه بررسی عملی یا آزمایشگاهی هدفمندی را نمی‌توان انجام داد. با استفاده از مدل می‌توان جنبه‌های

1- Watershed or Catchment

www.PnuNews.com

ویژه‌ای از واقعیت پیچیده‌ی یک سامانه را بررسی و تعیین نمود. چنین نمایشی از جنبه‌های یک سامانه‌ی واقعی را "مدل" یا "مدل سامانه" گویند. به عبارت دیگر، مدل وسیله‌ای است که بخشی از واقعیت را شبیه‌سازی می‌کند. به‌طور کلی، مدل‌سازی را می‌توان علم و هنر ساده‌سازی واقعیت دانست.

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌ی شناخت مفاهیم مختلف فرآیند فرسایش خاک حاصل شده است و به دنبال آن، مدل‌های مختلف برآورد فرسایش و رسوب پا به عرصه‌ی وجود گذاشته‌اند. به‌طور معمول، هر مدل فرسایشی، اثر چهار عامل اقلیم، خاک، ناهمواری و کاربری اراضی را بر میزان هدررفت خاک و تغییرهای مربوط به آن نشان می‌دهد.

۳-۲) تقسیم‌بندی مدل‌های فرسایشی

روش‌های مختلفی برای تقسیم‌بندی مدل‌های فرسایشی وجود دارند. این روش‌ها بر اساس چگونگی عملکرد مدل، پایه‌ی نظری معرفی مدل، چهارچوب محاسباتی مدل و پردازش داده‌ها، با یکدیگر متفاوت می‌باشند. در ادامه، به برخی از مهم‌ترین تقسیم‌بندی‌های ارایه‌شده برای مدل‌های فرسایشی پرداخته شده است.

۳-۲-۱) انواع مدل‌ها از دیدگاه فرآیند محاسباتی

به‌طور کلی، از این دیدگاه، مدل‌ها (از جمله، مدل‌های فرسایشی) را به سه گروه زیر تقسیم‌بندی می‌کنند:

الف) مدل‌های جعبه سیاه[1]

ب) مدل‌های جعبه خاکستری[2]

پ) مدل‌های جعبه سفید[3]

در مدل جعبه سیاه، تنها داده‌های ورودی و خروجی بررسی می‌شوند. در مدل جعبه خاکستری، تا اندازه‌ای فرآیندهای داخل سامانه یا مدل نیز بررسی می‌شوند. در مدل جعبه سفید، همه‌ی فرآیندهای داخل مدل شناخته شده هستند.

1- Black box
2- Gray box
3- White box

www.PnuNews.com

گاهی از نظر ظاهری، مدل‌های جعبه سفید را مدل‌هایی می‌دانند که روش و چگونگی فرآیند محاسباتی برای کاربر، آشکار و مشخص است. برعکس، مدل‌های جعبه سیاه را مدل‌هایی می‌دانند که کاربر نمی‌داند چه اتفاقی برای انجام محاسبات رخ می‌دهد. در این راستا، مدل‌های جعبه خاکستری، حالتی بینابین دارند. البته باید به این نکته توجه داشت که این تعریف‌ها، تنها از دیدگاه کاربران درست می‌باشند؛ وگرنه در عمل، هیچگونه مدل جعبه سیاهی وجود ندارد(!)، چراکه به هر حال، این مدل توسط شخص یا اشخاصی که به‌طور کامل از روند و چگونگی فرآیند محاسباتی آن آگاهی داشته‌اند ارایه شده است.

در زمینه‌ی فرسایش، اساس کار مدل‌های جعبه سیاه، برقراری ارتباط بین میزان تلفات خاک با عوامل مؤثر بر روی آن می‌باشد که از طریق مشاهده، اندازه‌گیری تجربی و تجزیه و تحلیل آماری به‌دست می‌آیند. بررسی‌های اخیر نشان داده‌اند که این مدل‌ها، کارآیی چندانی ندارند؛ زیرا اطلاعات بشر از فرآیند فرسایش و تأثیر متقابل عوامل مؤثر بر آن، مرتب در حال فزونی است. مدل‌های جعبه سفید، روش‌هایی مبتنی بر اصول فیزیکی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به مدل‌های ریاضی- فیزیکی اشاره کرد. از طرفی، مدل‌های جعبه خاکستری، به‌دلیل منطقه‌ای بودن و نیازمندی به داده‌های فراوان و درازمدت، امروزه کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدین‌ترتیب، به‌واسطه‌ی جایگزینی حل معادلات دیفرانسیلی بجای تجزیه و تحلیل-های آماری، مدل‌های جعبه خاکستری جای خود را به مدل‌های جعبه سفید داده‌اند.

۳-۲-۲) انواع مدل‌ها از دیدگاه ساختار فرمولی

در واقع، ساختار مدل، روش مورد استفاده برای توسعه و طراحی مدل‌های فرسایش را تعیین می‌کند. انواع مختلفی از این مدل‌ها را می‌توان به‌صورت زیر مد نظر قرار داد.

۳-۲-۲-۱) مدل‌های رگرسیونی

یکی از روش‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی فرسایش، کاربرد روش‌های رگرسیون آماری به‌منظور برازش یک معادله به یک مجموعه اطلاعات است؛ به نحوی که بهترین برازش را بر داده‌های آزمایشی داشته باشد. کارآیی این مدل‌ها به‌شدت به کمّیت و کیفیت داده‌هایی که از آن حاصل شده‌اند وابسته است.

از مزایای این مدل‌ها، سادگی و سهولت کار و همچنین تعداد ورودی‌های کم آن‌ها می‌باشد.

www.PnuNews.com

بزرگ‌ترین عیب این مدل‌ها داشتن خصوصیت منطقه‌ای است؛ به این معنا که تنها در مکان‌هایی که این معادلات به‌دست آمده‌اند، سودمند هستند.

۳-۲-۲-۲) مدل‌های شاخصی

این مدل‌ها نیز اساس تجربی دارند. فاکتورهای این مدل‌ها از یک مجموعه اطلاعات تجربی و بحرانی حاصل از یک پایگاه اطلاعاتی تجربی به‌دست می‌آیند. معادله‌ی جهانی فرسایش خاک[1]، یکی از انواع مدل‌های شاخصی محسوب می‌گردد که در آن، اثر هر متغیر (به‌عنوان یک شاخص) بر هدررفت خاک مد نظر قرار گرفته است. به‌دلیل اساس تجربی این مدل‌ها، کاربردشان به شرایط معرفی‌شده در پایگاه اطلاعاتی محدود می‌شود. به‌عنوان مثال، در صورتی که پایگاه اطلاعاتی موجود، دارای اطلاعات مربوط به هدررفت خاک برای سامانه‌ی کاربری گیاه خیار نباشد، استفاده از مدل مذکور برای این سامانه نادرست خواهد بود. در هر حال، به‌منظور توسعه‌ی این مدل‌ها، اجرای مراحل زیر ضروری می‌نماید:

۱) شرایط استاندارد برقراری یک رابطه‌ی تجربی بین فرسایش‌دهندگی و هدررفت خاک تحت شرایط ویژه، تعریف شوند.

برای نمونه، یکی از این شرایط استاندارد برای روش USLE، تعریف کَرت استانداردی به طول ۲۲/۱ متر و با شیب ۹ درصد است که در جهت شیب، شخم خورده باشد و به‌صورت همیشگی آیش باشد.

۲) یک رابطه‌ی تجربی پایه، بین هدررفت خاک از کَرت شاهد و میزان فرسایش‌پذیری ایجاد گردد. در این راستا، برقراری رابطه‌ی خطی بین فرسایش‌پذیری و هدررفت خاک از کَرت شاهد در اولویت می‌باشد.

مزایای این مدل‌ها سادگی و سهولت کاربرد آن‌ها است. این در حالی است که تجربی بودن شاخص‌های مورد استفاده در مدل‌های مزبور، از علل محدودیت آن‌ها می‌باشد.

۳-۲-۲-۳) مدل‌های فرآیندی

این مدل‌ها بر اساس مفاهیمی استوار می‌باشند که در سامانه تأثیر دارند و پارامترهای

1- Universal Soil Loss Equation; USLE

www.PnuNews.com

موجود در آن‌ها می‌توانند از خصوصیات فیزیکی سامانه و یا به‌طور مستقیم در مزرعه اندازه‌گیری شوند. این مدل‌ها خود به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) مدل‌های فرآیندی ساده

ب) مدل‌های ترکیبی فرآیندی- شاخصی

پ) مدل‌های پویا (دینامیک)

۳-۲-۲-۳-۱) مدل‌های فرآیندی ساده

این مدل‌ها شبیه مدل‌های شاخصی هستند، ولی یک تفاوت اساسی با این مدل‌ها دارند. در مدل‌های شاخصی، بین میزان شیب و طول شیب، یک رابطه‌ی ساده در نظر گرفته می‌شود؛ ولی چگونگی تفاوت طول شیب، از طریق تفاوت نسبت فرسایش شیاری به بین شیاری برای شرایط مختلف اقلیم، خاک، ناهمواری و کاربری اراضی، در نظر گرفته نشده است.

۳-۲-۲-۳-۲) مدل‌های ترکیبی فرآیندی- شاخصی

بهترین تفاوت این نوع از مدل‌ها نسبت به مدل‌های شاخصی، جایگزینی یک‌سری از معادلات برای محاسبه‌ی عامل کاربری اراضی در طول زمان می‌باشد. این معادلات از متغیرهایی که بیانگر سامانه‌های اصلی کاربری اراضی مؤثر بر فرسایش هستند، استفاده می‌کنند که به زیرعامل‌های مدیریت پوشش[1] مشهور می‌باشند. متغیرهای مزبور، شامل تاج پوشش گیاهی یا آسمانه‌ی گیاهی[2] (درصدی از کل سطح خاک را که در تصویر قائم شاخ و برگ گیاهی، از دید پنهان می‌ماند؛ تاج پوشش گیاهی نامیده می‌شود)، ارتفاع گیاه، میزان کاه و کلش، پوشش زمین، بقایای گیاهی خوابیده بر سطح زمین، ریشه‌های مرده و زنده، ارتفاع پشته‌ها و جهت پشته‌ها نسبت به باد غالب یا روان‌آب می‌باشند.

۳-۲-۲-۳-۳) مدل‌های پویا (دینامیک)

در این مدل‌ها، زمان به‌عنوان یک متغیر در نظر گرفته شده است. در واقع، این مدل‌ها سامانه‌هایی را که نسبت به زمان تغییر می‌کنند، شبیه‌سازی می‌نمایند. بنابراین، فرآیند

1- Cover management sub-factors
2- Plant canopy

www.PnuNews.com

فرسایش در طول هر رخداد متفاوت خواهد بود. این موضوع می‌تواند به‌دلیل تفاوت در شدت بارندگی، سرعت نفوذ و روان‌آب در طول هر رخداد باشد.

۳-۲-۳) انواع مدل‌ها از دیدگاه ساختار مکانی

۳-۲-۳-۱) مدل‌های میانگینی

خروجی این مدل‌ها بر اساس میانگین پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و نوع استفاده از زمین شکل گرفته است. کار با این مدل‌ها آسان، کم‌هزینه و نیازمند صرف وقت کم از نظر کار با رایانه می‌باشد. عیب اصلی این مدل‌ها این است که نمی‌توانند تأثیر قسمت‌های مختلف حوزه را روی انتقال رسوب و آلودگی ناشی از آن نشان دهند.

۳-۲-۳-۲) مدل‌های پخشی

این مدل‌ها قادر می‌باشند که تأثیر هر نقطه از حوزه‌ی مورد مطالعه را بر روی کیفیت آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی به خوبی ارزیابی کنند. به‌عنوان مثال، تأثیر کشت‌های متعدد و مدیریت‌های مختلف را بر فرسایش و آلودگی آب نشان می‌دهند. از جمله‌ی این مدل‌ها می‌توان به دو روش AGNPS[1] و ANSWERS[2] اشاره نمود.

۳-۲-۴) انواع مدل‌ها از دیدگاه پایه‌ی نظری (مفهومی)

تمایز بین این مدل‌ها ذهنی است. به دیگر سخن، مرز مشخصی که مدل‌ها را به‌طور کامل از هم جدا کند وجود ندارد و مدل‌ها دارای محدوده‌های مشترک و یا همپوشانی می‌باشند. به‌طور کلی، مدل‌های مزبور را می‌توان در سه گروه زیر تقسیم‌بندی نمود:

الف) مدل‌های تجربی (آماری)

ب) مدل‌های مفهومی (نظری)

1- Agricultural Nonpoint Source; AGNPS

2- Arial Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation; ANSWERS

www.PnuNews.com

پ) مدل‌های فیزیکی (ریاضی- فیزیکی)

۳-۲-۴-۱) مدل‌های تجربی (آماری)

مدل‌های تجربی بر روی مشاهدات پایه‌گذاری شده‌اند و به‌طور معمول، آماری هستند. این مدل‌ها بیشتر برای پیش‌بینی متوسط فرسایش به‌کار می‌روند؛ اگرچه برخی از آن‌ها برای پیش‌بینی رسوب هم استفاده می‌شوند. این مدل‌ها تقریباً همانند مدل‌های جعبه سفید می‌باشند. کار با این مدل‌ها ساده‌تر است و معمولاً برای شناسایی منبع رسوب و عناصر غذایی، مفید هستند. از بین این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های USLE، RUSLE[1] و SLEMS[2] اشاره کرد.

۳-۲-۴-۲) مدل‌های مفهومی (نظری)

این مدل‌ها، تقریباً همانند مدل‌های جعبه خاکستری می‌باشند و بر اساس معادلات پیوستگی آب و رسوب پایه‌گذاری شده‌اند و بدون توجه به جزئیات، شرح کلّی از فرآیندهای حوزه را فراهم می‌کنند. مدل‌های مفهومی، به‌عنوان واسطه‌ای بین مدل‌های تجربی و مدل‌های فیزیکی عمل می‌کنند. از جمله‌ی این مدل‌ها می‌توان به AGNPS، ACRU[3]، HSPF[4] و SWRRB[5] اشاره کرد.

۳-۲-۴-۳) مدل‌های فیزیکی (ریاضی- فیزیکی)

این مدل‌ها، تقریباً همانند مدل‌های جعبه سیاه می‌باشند و بر اساس معادلات فیزیکی پایه‌گذاری شده‌اند و به‌منظور بررسی توزیع مکانی روان‌آب و رسوب در طی دوره‌ی بارندگی و همچنین برای پیش‌بینی کل روان‌آب و هدررفت خاک توسعه داده شده‌اند. از انواع مدل‌های فیزیکی که در مطالعات فرسایش و کیفیت آب استفاده می‌شوند، می‌توان به دو مدل

1- Revised Universal Soil Loss Equation; RUSLE
2- Soil Loss Estimation and Modelling System; SLEMS
3- Agriculture Catchments Research Unit; ACRU
4- Hydrological Simulation Program Fortran; HSPF
5- Simulator for Water Resources in Rural Basins; SWRRB

www.PnuNews.com

ANSWERS و WEPP[1] اشاره کرد.

۳-۳) انتخاب مدل‌ها برای استفاده در مطالعات

مناسب‌ترین مدل برای مطالعات، به نحوه‌ی استفاده از مدل و ویژگی‌های حوزه، نیازهای اطلاعاتی (مانند تعداد و نوع ورودی‌ها و خروجی‌های مدل و تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها)، صحت و اعتبار مدل بستگی دارد. به‌طور معمول، با افزایش دقت و اعتبار مدل، پیچیدگی‌ها و نیازهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن هم افزایش می‌یابد. در این میان، مدل‌های تجربی به‌علت سادگی، نیاز اطلاعاتی پایین و دقت و اعتبار قابل قبول، همچنان مورد توجه می‌باشند.

به‌طور کلی، در انتخاب یک مدل باید به موارد زیر توجه نمود:

الف) مدل در چه شرایطی ارایه شده است.

برای نمونه، اگر یک مدل در شرایط مرطوب ارایه شده باشد، نباید از آن در شرایط غیرمرطوب استفاده کرد. نمونه‌ی دیگر، اینکه از مدلی که برای حوزه‌های کوچک معرفی شده است در حوزه‌های بزرگ استفاده نکرد (و یا برعکس).

ب) فرضیات مدل رعایت شوند.

برای نمونه، اگر در فرضیات مدل، وجود مالچ مناسب، مد نظر قرار گرفته باشد؛ باید در عمل، این فرض صحت داشته باشد.

پ) هدف از به‌کار بردن مدل مشخص باشد.

برای نمونه، اگر هدف از پژوهش، برآورد مقدار فرسایش است؛ از مدلی که برای این منظور ارایه شده است، استفاده شود؛ نه مدلی که فرآیند فرسایش را بررسی می‌کند و یا مدلی که رسوب یا روان‌آب را برآورد می‌نماید. نمونه‌ی دیگر، اینکه دقت و صحت مورد نظر مشخص باشد. به‌طور معمول، مدل‌های دقیق‌تر، نیازمندی‌های بیشتری دارند و پیچیده‌تر هستند.

ت) نیازمندی‌های مدل، مد نظر قرار گیرند.

برای نمونه، اگر داده‌های اندکی در اختیار است، مدلی متناسب با آن داده‌ها انتخاب شود؛ هرچند که مدل مورد نظر، نسبت به دیگر مدل‌ها از دقت و صحت کمتری برخوردار باشد. البته اگر مدلی باشد که داده‌های زیادی بخواهد، ولی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شده باشد که با داده‌های

1- Water Erosion Prediction Project; WEPP

www.PnuNews.com

کم و یا ناقص هم اجرا گردد، می‌توان آن را نیز مورد آزمون قرار داد. نمونه‌ی دیگر، بررسی امکانات، هزینه‌ها و زمان است که باید بر اساس آن‌ها مدل انتخاب شود.

۳-۴) مدل‌های فرسایش خاک

مدل‌های مختلفی برای ساده‌سازی واقعیتی به نام فرسایش خاک ارایه شده‌اند که هر کدام از آن‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارا می‌باشند. در ادامه‌ی مطالب کتاب، تلاش گردیده است تا برخی از مهم‌ترین و معمول‌ترین مدل‌های فرسایش خاک برای خوانندگان محترم معرفی گردند.

۳-۴-۱) معادله‌ی جهانی فرسایش خاک (USLE)

اوّلین معادله‌ای که برای تخمین میزان فرسایش در یک شیب خاص پیشنهاد شد، معادله‌ی زینگ[1] (۱۹۴۰) بود که در آن، تنها دو عامل درجه و طول شیب در نظر گرفته شده بودند. سپس، موسگراو[2] (۱۹۴۷) عامل آب و هوا و اسمیت[3] عامل پوشش گیاهی را نیز در این معادله دخالت دادند. بهترین فرمول برای برآورد فرسایش خاک، توسط ویشمایر[4] و اسمیت در سال ۱۹۶۵ ارایه شد. این معادله که به فرمول جهانی فرسایش خاک نیز معروف می‌باشد مبنای تجربی دارد و بر اساس داده‌های صحرایی فراوان به‌دست آمده است و با استفاده از چهار عامل عمده، فرسایش ورقه‌ای و شیاری را محاسبه می‌کند. این عوامل عبارتند از:

۱) فرسایندگی اقلیم (R)

۲) فرسایش‌پذیری خاک (K)

۳) پستی و بلندی (LS)

۴) کاربری اراضی و مدیریت آن (CP)

در این روش، تأکید بر مجموع انرژی بارندگی برای محاسبه‌ی شدت فرسایش حاصل از انواع فرسایش سطحی و شیاری است. در فرمول جهانی فرسایش خاک، تأثیر هر کدام از عوامل

1- Zingg
2- Musgrave
3- Smith
4- Wischmeier

www.PnuNews.com

مؤثر در فرسایش خاک را با یک عدد مشخص می‌کنند و در نهایت، میزان فرسایش از حاصل-ضرب این اعداد به‌دست می‌آید که به‌صورت یک عدد کمّی است. فرمول ارایه‌شده برای مدل USLE به شکل زیر می‌باشد:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

که در آن:

A= مقدار خاک فرسایش‌یافته به‌وسیله‌ی فرسایش ورقه‌ای و شیاری (بر حسب واحد جرم در واحد سطح و در واحد زمان) است.

واحد A در سامانه‌ی انگلیسی، بر حسب "تن بر ایکر در سال" و در سامانه‌ی متریک، بر حسب "تن در هکتار در سال" می‌باشد.

R= عامل بارندگی است که قدرت فرسایندگی باران را نشان می‌دهد.

K= ضریب فرسایش‌پذیری خاک است که به‌صورت یک عدد می‌باشد و حساسیت ذاتی خاک به فرسایش را مشخص می‌کند.

L= عامل طول شیب است و عبارت از نسبت فرسایش در طول شیب به فرسایش در کَرت شاهد می‌باشد.

منظور از کَرت شاهد، کَرتی است که در همان زمین و همان شیب وجود دارد. این کَرت، فاقد پوشش گیاهی است و در جهت شیب، شخم خورده است و همواره آیش می‌باشد. مساحت این کَرت، ۰/۰۱ ایکر (۴۰/۵ مترمربع)؛ شیب آن ۹ درصد (۵/۱۴ درجه)؛ عرض آن ۶ فوت (۱/۸۳ متر) و طول آن ۷۲/۶ فوت (۲۲/۱۳ متر) است.

S= عامل شیب زمین است و عبارت از نسبت فرسایش در شیب موجود در زمین به مقدار فرسایش در کَرت شاهد (شیب ۹ درصد) می‌باشد.

C= عامل پوشش گیاهی می‌باشد و عبارت است از فرسایش حاصل‌شده در زمینی با پوشش گیاهی مشخص نسبت به مقدار فرسایش در شرایط کَرت شاهد که بدون پوشش بوده و در جهت شیب شخم خورده است.

P= عامل حفاظت خاک می‌باشد و عبارت است از نسبت فرسایش یک زمین حفاظت‌شده به مقدار فرسایش همان زمین که هیچگونه عملیات حفاظتی در آن انجام نگرفته است (به عبارتی، کشت و کار در امتداد ردیف‌های شیب انجام شده باشد).

در ادامه، محاسبه‌ی عامل‌های مدل جهانی فرسایش شرح داده می‌شوند.

www.PnuNews.com

۳-۴-۱-۱) عامل بارندگی (R)

این عامل، بیانگر فاکتور فرسایش‌دهندگی باران یا معیار فرسایش برای مدت بارندگی مورد نظر است که قدرت فرسایش یک باران مشخص را تعیین می‌کند و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{EI_{30}}{100}$$

که در آن:

EI_{30}= شاخص ویشمایر می‌باشد که از ترکیب انرژی جنبشی باران (E) و بیشترین شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای منطقه (I_{30}) به‌دست می‌آید. این شاخص، بیشترین همبستگی را با فرسایش خاک دارد. عدد ۱۰۰ موجود در مخرج کسر بالا، تنها به‌خاطر کوچک‌شدن R می‌باشد.

برای محاسبه‌ی انرژی جنبشی باران که به اندازه‌ی قطره‌های آن بستگی دارد، از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$E = 210/2 + 89\log_{10} I$$

که در آن:

E= انرژی جنبشی بر حسب ژول بر مترمربع در سانتی‌متر باران

I= شدت متوسط بارندگی بر حسب سانتی‌متر در ساعت

برای به‌دست آوردن کل انرژی بارندگی (Etot)، ابتدا باید کل زمان بارش را به دوره‌های مشخصی تقسیم نمود و مقدار هر یک از انرژی‌های محاسبه‌شده برای یک دوره‌ی بارندگی بخصوص (E_i) را در سانتی‌متر باران (h_i) مربوط به همان دوره ضرب کرد تا در نهایت، با محاسبه‌ی مجموع این حاصل‌ضرب‌ها، کل انرژی بارندگی به‌دست آید. به دیگر سخن:

$$Etot = \sum_{i=1}^{n} E_i h_i$$

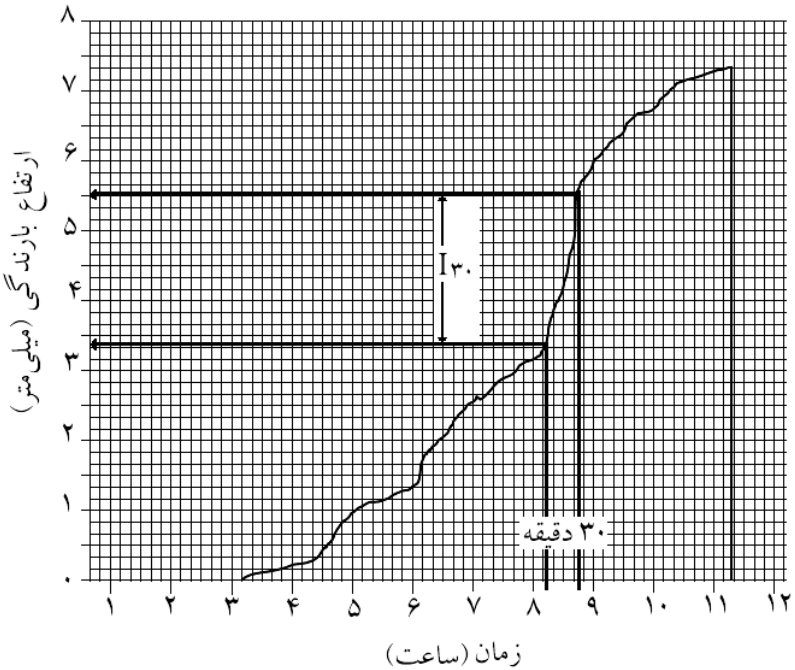
در پایان برای به‌دست آوردن مقدار EI_{30}، به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$EI_{30} = Etot * I_{30} * 2$$

I_{30}، بیانگر بیشترین شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای منطقه است که یا از روی کاغذهای ثبات دستگاه باران‌نگار (جایی که منحنی، دارای بیشترین شیب است) محاسبه می‌گردد (شکل ۳-۱)

www.PnuNews.com

و یا از طریق ارقام جدول مربوط به بارش اندازه‌گیری می‌شود.



شکل (۳-۱): چگونگی محاسبه‌ی بیشترین شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای از روی کاغذهای ثبات دستگاه باران‌نگار

مثال ۱:

کل انرژی جنبشی یا توان فرسایش‌دهی را برای باران مربوط به شکل ۳-۱ به‌دست آورید.

حل:

برای به‌دست آوردن کل انرژی بارندگی (Etot)، کل زمان بارش را باید به دوره‌هایی تقسیم نمود. هرچه این دوره‌ها کوتاه‌تر باشند؛ محاسبات، دقیق‌تر خواهند بود. در این مثال، دوره‌های زمانی، به‌صورت جدول ۳-۱ در نظر گرفته شده‌اند.

www.PnuNews.com

جدول (۳-۱): دوره‌های زمانی مختلف در نظر گرفته‌شده برای حل مثال ۱

دوره‌ی زمانی (ساعت و دقیقه)	ارتفاع تجمعی باران (میلی‌متر)	زمان بارش (دقیقه)	ارتفاع باران (میلی‌متر)	شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت)	انرژی جنبشی (ژول بر مترمربع بر میلی‌متر)	کل انرژی جنبشی (ژول بر مترمربع)
۳:۱۰´	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴:۰۰´	۰/۲۵	۵۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۱۶۳/۶۷	۴۰/۹۲
۵:۰۰´	۱/۰۰	۶۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۱۹۹/۰۸	۱۴۹/۳۱
۶:۰۰´	۱/۳۴	۶۰	۰/۳۴	۰/۳۴	۱۶۸/۵۰	۵۷/۲۹
۷:۰۰´	۲/۵۸	۶۰	۱/۲۴	۱/۲۴	۲۱۸/۵۱	۲۷۰/۹۶
۸:۰۰´	۳/۱۷	۶۰	۰/۵۹	۰/۵۹	۱۸۹/۸۱	۱۱۱/۹۹
۹:۰۰´	۵/۸۳	۶۰	۲/۶۶	۲/۶۶	۲۴۸/۰۱	۶۵۹/۷۲
۱۰:۰۰´	۶/۷۵	۶۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۲۰۶/۹۸	۱۹۰/۴۲
۱۱:۱۷´	۷/۳۴	۷۷	۰/۵۹	۰/۴۶	۱۸۰/۱۶	۱۰۶/۳۰
کل	۷/۳۴	۴۸۷	۷/۳۴	۰/۹۰	۲۰۶/۳۱	۱۵۸۶/۹۱

عدد ۱۵۸۶/۹۱ از جمع اعداد ستون مربوط به کل انرژی جنبشی به‌دست آمده است؛ لیکن با توجه به انرژی جنبشیِ ۲۰۶/۳۱ (ژول بر مترمربع بر میلی‌متر) و ارتفاع بارانِ ۷/۳۴ (میلی‌متر)، مقدار انرژی کل بارش ۱۵۱۴/۳۲ خواهد شد که نزدیک به عدد ۱۵۸۶/۹۱ است.

مثال ۲:

مقدار EI_{30} را با توجه به شکل ۳-۱ به‌دست آورید.

حل:

همان‌طور که در شکل ۳-۱ دیده می‌شود؛ ۳۰ دقیقه‌ی پیوسته‌ای که بیشترین بارش در آن رخ داده باشد، از حدود ساعت هشت و ۱۳ دقیقه (´۸:۱۳) تا ساعت هشت و ۴۳ دقیقه (´۸:۴۳) طول کشیده است که در این‌مدت، ۲/۱۵ (=۳/۳۵-۵/۵۰) میلی‌متر باران باریده است. با توجه به ستون اول و پنجم جدول ۳-۱ نیز معلوم می‌شود که بیشترین بارش در ساعت نهم بوده است؛

www.PnuNews.com

لیکن چون دوره‌های زمانی در نظر گرفته‌شده، حدود یک ساعت می‌باشند، زمان دقیق آن را نمی‌توان تعیین کرد؛ مگر اینکه دوره‌های زمانی را کوتاه‌تر نمود. بنابراین، با توجه به اینکه کل انرژی جنبشی باران (Etot) مزبور، ۱۵۸۶/۹۱ (ژول بر مترمربع) و مقدار I_{30} نیز ۲/۱۵ (میلی-متر بر ساعت) می‌باشند؛ بنابراین:

$$EI_{30} = ۱۵۸۶/۹۱ \times ۲/۱۵ \times ۲ = ۶۸۲۳/۷۱$$

۳-۴-۱-۲) عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

فرسایش‌پذیری، خصوصیتی از خاک است که میزان حساسیت آن در برابر جدا شدن و انتقال توسط عوامل فرسایش‌دهنده (قطره‌های باران و روان‌آب) را بیان می‌کند. بخشی از این حساسیت، ناشی از مواد مادری خاک‌ها، به‌ویژه در مناطق خشک، می‌باشد و به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها وابسته است.

بافت خاک، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد. خاک‌های ریزبافت، دارای چسبندگی زیادتری هستند و جدا شدن آن‌ها مشکل‌تر است؛ ولی رسوبات آن‌ها به‌راحتی انتقال می‌یابند. این در حالی است که در خاک‌های درشت‌بافت، چسبندگی کمتر است و راحت‌تر و سریع‌تر جدا می‌شوند؛ اما انتقال رسوبات آن‌ها مشکل‌تر است. به‌طور معمول، خاک‌های سیلتی و لومِ سیلتی، بسیار فرسایش‌پذیر می‌باشند و خاک‌های دارای رس زیاد، دارای فرسایش‌پذیری کمی هستند. خاک‌های لومی و لومِ شنی، از درجه‌ی فرسایش‌پذیری متوسطی برخوردار می‌باشند. مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش میزان سیلت خاک، فرسایش‌پذیری نیز افزایش می‌یابد؛ در حالی که با افزایش مقدار رس، از میزان فرسایش-پذیری کاسته می‌شود.

از دیگر عوامل فیزیکی مهم و مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک، پایداری خاکدانه‌ها است. هر چه پایداری خاکدانه‌ها بیشتر باشد، حساسیت خاک به تخریب خاکدانه‌ها و ایجاد ذرات ریزتر کاهش می‌یابد. همچنین، درصد سنگریزه در سطح خاک، مقدار آب خاک در هنگام بارندگی، حدود آتربرگ و شدت نفوذپذیری نهایی، از جمله ویژگی‌های فیزیکی مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک محسوب می‌گردند.

ویژگی‌های شیمیایی خاک به‌دلیل اثر زیادی که روی خصوصیات فیزیکی خاک (مانند

www.PnuNews.com

خاکدانه‌سازی، پراکندگی (پراکنش) خاک[1]، سله‌بندی و نفوذپذیری خاک) دارند؛ بر فرسایش‌پذیری خاک نیز مؤثر خواهند بود. افزایش مواد آلی خاک، با تأثیر مثبت بر روی خاکدانه‌سازی، پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک، موجب کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود.

کاتیون‌های خاک نیز با تأثیری که روی هم‌آوری و پراکنش خاک دارند می‌توانند تأثیر مثبت و یا منفی روی فرسایش‌پذیری خاک داشته باشند. بنابراین، انتظار می‌رود که کاتیون‌هایی چون کلسیم و منیزیم، اثر کاهنده بر فرسایش‌پذیری خاک داشته باشند و در مقابل، پتاسیم و سدیم، فرسایش‌پذیری خاک را افزایش دهند.

کانی‌های رسی خاک نیز در فرسایش‌پذیری آن‌ها مؤثر می‌باشند. به‌طور کلی، کانی‌های رسی که تمایل به انبساط‌پذیری بیشتری دارند (مانند اسمکتایت) فرسایش‌پذیرتر هستند.

مواد مادری به‌دلیل تأثیر روی بافت خاک، کانی‌های رسی، ساختمان خاک و غیره می‌توانند عامل مهمی در فرسایش‌پذیری خاک باشند.

مقدار فرسایش‌پذیری خاک در مدل جهانی فرسایش، عبارت از نسبت فرسایش به عامل بارندگی در کَرت شاهد می‌باشد. بنابراین ضریب فرسایش‌پذیری، عددی است که حساسیت ذاتی خاک را در برابر فرسایش مشخص می‌کند. مقدار K برابر است با:

$$K = \frac{A}{R}$$

در شرایط کَرت شاهد، مقدار عددی هر یک از عوامل L، S، C و P، برابر واحد می‌باشند و مقدار فرسایش، متناسب با فرسایندگی باران و فرسایش‌پذیری خاک خواهد بود؛ یعنی:

$$A = R.K$$

اندازه‌گیری ضریب فرسایش‌پذیری به‌طور مستقیم و در شرایط بارندگی طبیعی، وقت‌گیر و پُرهزینه است. ویشمایر و همکارانش با آزمایش‌های زیاد توانستند همبستگی خوبی را بین عامل فرسایش‌پذیری (K) و پنج عامل فیزیکی خاک به‌دست آورند. این پنج عامل، عبارتند از:

۱) درصد سیلت (۰/۰۰۲ تا ۰/۰۵ میلی‌متر) بعلاوه‌ی شن خیلی‌ریز (۰/۰۵ تا ۰/۱ میلی‌متر)
۲) درصد شن بزرگ‌تر از شن خیلی‌ریز (۰/۱ تا ۲ میلی‌متر)
۳) درصد ماده‌ی آلی

1- Soil dispersion

www.PnuNews.com

۴) ساختمان خاک

۵) نفوذپذیری خاک

تمامی فاکتورهای ذکرشده در لایه‌ی سطحی خاک (۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری) اندازه‌گیری می‌شوند. البته میزان نفوذپذیری برای تمامی خاک‌رخ اندازه‌گیری می‌گردد.

ویشمایر برای محاسبه‌ی K، یک نموگراف ارایه کرد (شکل ۳-۲). همین‌طور، وی برای محاسبه‌ی K فرمولی نیز تهیه نمود. فرمول ارایه‌شده توسط ویشمایر و همکارانش که تا مقادیر ۷۰ درصد سیلت، قابل استفاده است، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$۱۰۰K = [۲/۱M^{۱/۱۴} \times ۱۰^{-۴} \times (۱۲ - \%OM)] + [۳/۲۵ \times (S - ۲)] + (P - ۳)$$

که در آن:

OM= درصد ماده‌ی آلی

S= کلاس ساختمان خاکدانه‌ها

P= کلاس نفوذپذیری خاک‌رخ

عامل M، از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$M = (۱۰۰ - C) \times (fS + Si)$$

که در این فرمول:

C= درصد رس خاک

fS= درصد شن ریز خاک

Si= درصد سیلت خاک

کلاس ساختمان خاک یا خاکدانه‌ها به شرح زیر قابل تعریف است:

۱) ساختمان دانه‌ای و اسفنجی خیلی‌ریز (کوچک‌تر از یک میلی‌متر)

۲) ساختمان دانه‌ای و اسفنجی ریز (یک تا دو میلی‌متر)

۳) ساختمان دانه‌ای و اسفنجی متوسط (دو تا پنج میلی‌متر) و دانه‌ای درشت (پنج تا دَه میلی‌متر)

۴) ساختمان توده‌ای (منشوری، ستونی و مکعبی)

مقادیر ذکرشده برای نفوذپذیری، در واقع کلاس نفوذپذیری را نشان می‌دهند که به‌صورت زیر تعیین می‌گردند:

۱) زیاد تا خیلی زیاد (بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر در ساعت)

www.PnuNews.com

۲) متوسط تا زیاد (۶/۲۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر در ساعت)

۳) متوسط (۲ تا ۶/۲۵ سانتی‌متر در ساعت)

۴) کم تا متوسط (۰/۵ تا ۲ سانتی‌متر در ساعت)

۵) کم (۰/۱۲۵ تا ۰/۵ سانتی‌متر در ساعت)

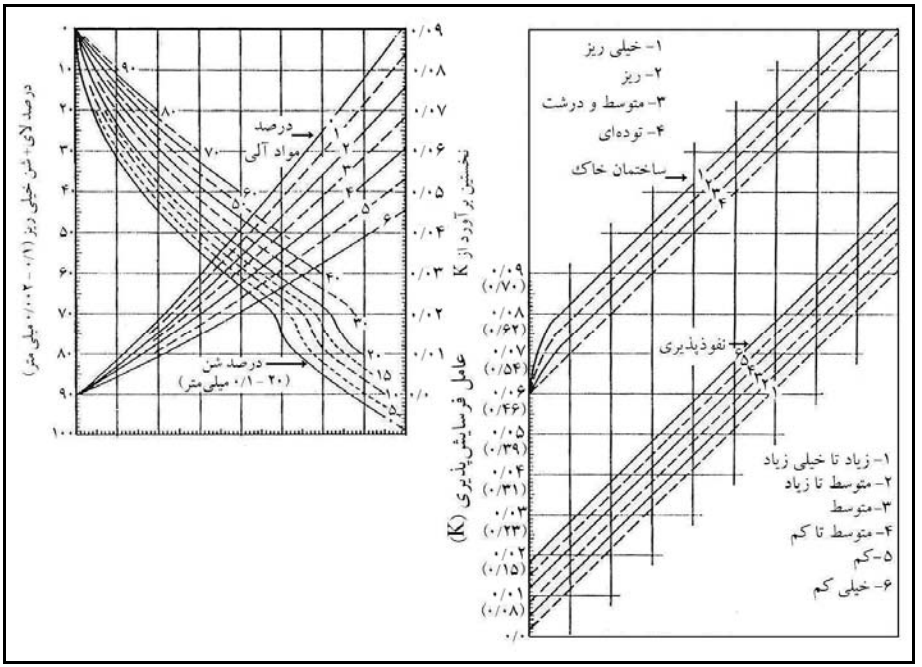
۶) خیلی کم (کمتر از ۰/۱۲۵ سانتی‌متر در ساعت)

توجه داشته باشید که مقدار K در فرمول بالا بر اساس سامانه‌ی آمریکایی می‌باشد و برای تبدیل آن‌ها به سامانه‌ی متریک (SI)، باید عدد حاصل را بر ۷/۵۹ تقسیم نمود. در سامانه‌ی متریک، واحد K عبارت از "تن×ساعت×هکتار" تقسیم بر "هکتار×مگاژول×میلی‌متر" (t.hr.ha/ha.Mj.mm) می‌باشد و مقدار فرسایش، دارای واحد "تن بر هکتار در ساعت" (t/ha.hr) خواهد بود.

پس از محاسبه‌ی ضریب K، بر اساس طبقه‌بندی ارایه‌شده توسط برگسما[1] (جدول ۳-۲)، می‌توان نام طبقه‌ی متناسب با مقدار فرسایش‌پذیری خاک را تعیین نمود.

1- Bergsma

www.PnuNews.com



شکل (۳-۲): نموگراف فرسایش‌پذیری خاک بر اساس سامانه‌ی متریک
(اعداد داخل پرانتز بر اساس سامانه‌ی آمریکایی می‌باشند)

جدول (۳-۲): طبقه‌بندی برگسما برای فرسایش‌پذیری خاک‌ها

نام طبقه	فرسایش‌پذیری (سامانه‌ی آمریکایی)
بسیار زیاد	۰/۷ – ۰/۳۵
زیاد	۰/۳۵ – ۰/۱۷
متوسط	۰/۱۷ – ۰/۰۸
کم	۰/۰۸ – ۰/۰۴
بسیار کم	<۰/۰۴

با این وجود، محاسبه‌ی K در ایران، با اشکال‌هایی همراه است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱) در آزمایش‌هایی که ویشمایر و همکارانش برای محاسبه‌ی K انجام دادند از باران‌های خاص مناطق شرق آمریکای مرکزی که باران‌هایی با شدت ۶۳/۵ میلی‌متر در ساعت و به‌مدت دو ساعت متوالی را شامل می‌شوند، استفاده نمودند. این در حالی است که در مناطق خشک و

www.PnuNews.com

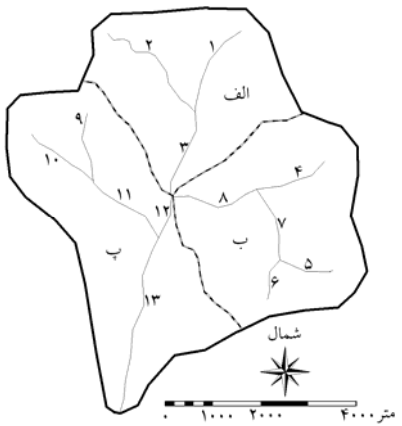
نیمه‌خشک ایران، وقوع چنین بارندگی‌هایی غیرمحتمل است. بنابراین، به نظر می‌رسد که اعداد محاسبه‌شده به‌وسیله‌ی فرمول ویشمایر، برای چنین مناطقی، ضریب K را بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهند.

۲) فرمول و یا نموگراف ویشمایر، در مناطق نیمه‌مرطوب ایالات متحده‌ی آمریکا و برای خاک‌هایی ارایه شده است که تقریباً بدون آهک می‌باشند. بنابراین، فراوانی آهک در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، منجر به بزرگ شدن مجازی عدد K می‌شود.

در هر حال، به نظر می‌رسد که تأثیر دو مورد بالا روی یکدیگر، بتواند برآورد قابل قبولی از K را در شرایط ایران به‌دست دهد.

مثال ۳:

شکل۳-۳، یک حوزه‌ی آبخیز را نشان می‌دهد که به سه زیرحوزه تقسیم شده است. اطلاعات فیزیوگرافیک این زیرحوزه‌ها در جدول ۳-۳، اطلاعات خاک آن‌ها در جدول ۳-۴ و دیگر اطلاعات، در بخش توصیف زیرحوزه‌ها ارایه گردیده‌اند. مقدار بارندگی شش‌ساعته‌ی حوزه‌ی مزبور با دوره‌ی بازگشت دو ساله، برابر با شش میلی‌متر می‌باشد و میانگین بارندگی پُرباران‌ترین ماه سال در دوره‌ی آماری مورد نظر، ۴۰/۱ میلی‌متر است. مجموع بارندگی و متوسط دمای سالانه‌ی این حوزه، به ترتیب، ۳۰۱ میلی‌متر و ۱۸ درجه‌ی سلسیوس می‌باشند.



شکل (۳-۳): نمای کلی حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه، به‌همراه زیرحوزه‌های سه‌گانه‌ی آن (اعداد روی شکل، نشانگر شماره‌ی آبراهه‌ها می‌باشند)

www.PnuNews.com

جدول (۳-۳): ویژگی‌های فیزیوگرافیک زیرحوزه‌های مورد مطالعه

علامت زیرحوزه	محیط (کیلومتر)	مساحت (هکتار)	شیب متوسط (درصد)	طول متوسط (متر)	مواد مادری	مقدار عامل C برای بخش کشاورزی	حجم روان‌آب (مترمکعب) و ارتفاع آن (میلی‌متر)*	دبی بیشینه‌ی روان‌آب (مترمکعب بر ثانیه)	شماره‌ی آبراهه	طول آبراهه (متر)
الف	۱۳/۶	۱۱۱۵	۱۸	۳۲۱	گنگلومرا و سنگ آهک	۰/۶۵	۴۴۶۰۰ و ۴	۷	۱ ۲ ۳	۲۰۴۶ ۲۷۲۳ ۱۸۹۰
ب	۱۳/۸	۱۲۹۶	۳۰	۲۹۳	ماسه سنگ و شیل	۰/۷۴	۷۷۷۶۰ و ۶	۱۰	۴ ۵ ۶ ۷ ۸	۱۶۰۸ ۱۲۰۰ ۹۱۶ ۱۶۲۶ ۱۹۱۳
پ	۱۸/۸	۱۵۷۷	۴۱	۳۶۴	دولومیت	۰/۲۱	۷۸۸۵۰ و ۵	۵	۹ ۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳	۱۴۵۴ ۱۶۲۷ ۱۸۸۹ ۹۶۸ ۳۸۳۹

* این مقادیر، مربوط به شکل ۳-۱ می‌باشند.

جدول (۳-۴): ویژگی‌های خاک زیرحوزه‌های مورد مطالعه

علامت زیرحوزه	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد) (۰/۰۵-۰/۱ mm)	شن (درصد) (۰/۱-۲ mm)	ساختمان	نفوذپذیری (cm/h)	مواد آلی (درصد)	گروه هیدرولوژیک	چگالی ظاهری (g/m^3)
الف	۴۰	۲۵	۲۰	۱۵	مکعبی ریز	۱/۲	۰/۵	C	۱/۴
ب	۱۵	۴۱	۳۰	۱۴	مکعبی خیلی‌ریز	۰/۸	۰/۷	D	۱/۳
پ	۲۵	۱۵	۲۰	۴۰	توده‌ای	۲/۲	۱/۲	C	۱/۶

www.PnuNews.com

توصیف زیرحوزه‌ها به قرار زیر است:

زیرحوزه‌ی "الف":

این زیرحوزه، دارای ۴۰ درصد کاربری مرتع با پوشش نسبتاً خوب (۲۵ درصد پوشش تاجی درختچه‌ای کم‌ارتفاع و ۱۰ درصد پوشش علوفه‌ای) و مابقی، اراضی کشاورزی به‌صورت کشت روی خطوط تراز می‌باشد (۸۰ درصد پوشش تاجی). درصد زمین‌های لخت، حدود ۳۰ درصد است. مقدار کمی فرسایش شیاری و گاهی خندقی پایدار همراه با تجمع خاک و بقایای گیاهی در پای سنگ‌ها یا گیاهان دیده می‌شود.

زیرحوزه‌ی "ب":

این زیرحوزه، دارای ۸۰ درصد کاربری مرتع با پوشش متوسط تا کم (۱۰ درصد پوشش تاجی و ۲۰ درصد پوشش علوفه‌ای) و مابقی، اراضی کشاورزی به‌صورت کشت روی خطوط تراز با شیب ۲۰ درصد و طول شیب ۱۰ متر می‌باشد (۴۰ درصد پوشش تاجی). درصد زمین‌های لخت، حدود ۵۰ درصد است. مقدار قابل توجهی (بیش از ۷۰ درصد) فرسایش شیاری و خندقی همراه با تجمع زیاد خاک و بقایای گیاهی در پای موانع دیده می‌شود.

زیرحوزه‌ی "پ":

این زیرحوزه، دارای ۵۰ درصد کاربری مرتع با پوشش خوب (۶۰ درصد پوشش تاجی درختی و ۸۰ درصد پوشش بوته‌ای)، ۳۰ درصد پوشش جنگلی (۹۵ درصد پوشش تاجی) و مابقی، اراضی کشاورزی به‌صورت کشت روی تراس با شیب ۲۲ درصد می‌باشد (۸۰ درصد پوشش تاجی). درصد زمین‌های لخت، حدود ۲۰ درصد است. مقدار کمی فرسایش ورقه‌ای و گاهی شیاری همراه با تجمع ناچیزی از خاک و بقایای گیاهی در پای سنگ‌ها یا گیاهان دیده می‌شود.

مثال ۴:

ضریب فرسایش‌پذیری را در مثال سه برای زیرحوزه‌ی "الف" به‌دست آورید.

حل:

در زیرحوزه‌ی "الف"، با توجه به مشخصات خاک ارایه‌شده در جدول ۳-۴، با استفاده از نمودار ویشمایر (همانند شکل ۳-۴)، مقدار فرسایش‌پذیری، حدود ۰/۰۲۸ (در سامانه‌ی متریک) خواهد شد. همچنین، با استفاده از فرمول نیز می‌توان مقدار ضریب فرسایش‌پذیری را محاسبه نمود. در نتیجه:

www.PnuNews.com

$M = (۱۰۰ - ۴۰) \times (۲۰+۲۵) = ۲۷۰۰$

S = ساختمان ریزمکعبی= ۲

$P = ۱/۲$ cm/h = متوسط تا کم = ۴

حال خواهیم داشت:

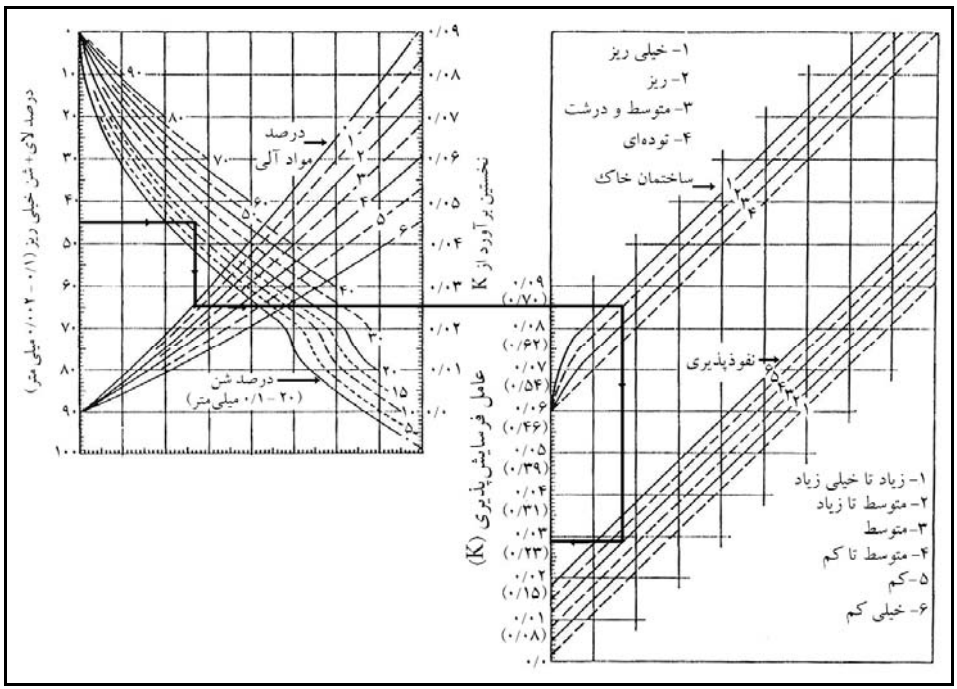
$$۱۰۰K = [۲/۱\times (۲۷۰۰)^{۱/۱۴} \times ۱۰^{-۴} \times (۱۲ - ۰/۵)] + [۳/۲۵ \times (۲ -۲)] + (۴ - ۳) = ۲۰/۷$$

بنابراین، مقدار K، برابر ۰/۲۰۷ (در سامانه‌ی آمریکایی) خواهد شد که تقریباً با روش نمودار برابر است. اگر این مقدار بر ۷/۵۹ تقسیم شود، مقدار آن در سامانه‌ی متریک به‌صورت زیر می‌باشد:

$$۰/۲۰۷ \div ۷/۵۹ = ۰/۰۲۷$$

تمرین:

مقدار K را برای زیرحوزه‌های دیگر (با دو روش گفته‌شده) تعیین نمایید.



شکل (۳-۴): چگونگی محاسبه‌ی ضریب فرسایش‌پذیری برای مثال ۴

(خط سیاه‌رنگ ضخیم ترسیم‌شده روی نمودار، مسیر دست‌یابی به ضریب K را نشان می‌دهد)

www.PnuNews.com

۳-۴-۱-۳) عامل طول شیب (L)

به‌طور کلی، هرچه طول شیب، زیادتر باشد؛ شدت فرسایش بیشتر می‌شود. میزان فرسایش در طول یک شیب، یکنواخت نمی‌باشد و به‌طور معمول، در قسمت‌های انتهایی، بیشتر است.

عامل طول شیب (L) را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد:

$$L = (\frac{\lambda}{22/1})^m$$

که در این فرمول:

λ= طول شیب زمین (بر حسب متر)

m= عدد توان (که بسته به شیب زمین، مقدار آن از طریق جدول ۳-۵ قابل استخراج می‌باشد.)

جدول (۳-۵): برآورد توان m با توجه به شیب زمین

شیب زمین (درصد)	مقدار m
<۱	۰/۲
۱ تا ۳	۰/۳
۳ تا ۵	۰/۴
≥۵	۰/۵

۳-۴-۱-۴) عامل درجه‌ی شیب (S)

ویشمایر در سال ۱۹۵۰، رابطه‌ی بین میزان شیب (s) و فرسایش (E) را مطابق فرمول زیر به‌دست آورد:

$$E = ۰/۴۳ + ۰/۳\ s + ۰/۰۴۳\ s^۲$$

که در این فرمول، s بیانگر درصد شیب زمین می‌باشد. عامل درجه‌ی شیب (S) از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$S = \frac{E}{E_0}$$

که در آن:

www.PnuNews.com

E= فرسایش در شیب مورد نظر

E_0= فرسایش در شیب کرت شاهد (به دیگر سخن، s = ۹)

برای محاسبه‌ی درجه‌ی شیب، باید دو فرمول بالا را با یکدیگر ترکیب نمود تا فرمول زیر حاصل گردد:

$$S = ۰/۰۶۵ + ۰/۰۴۵\ s + ۰/۰۰۶۵\ s^۲$$

مثال ۵:

مقدار عامل‌های شیب و طول شیب را در زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳) تعیین نمایید.

حل:

با توجه به اینکه متوسط شیب و طول شیب این زیرحوزه، به ترتیب، برابر ۱۸ درصد و ۳۲۱ متر می‌باشند (جدول ۳-۳)؛ مقدار توان معادله (جدول ۳-۵)، برابر ۰/۵ انتخاب می‌شود. بنابراین:

$$L = (۳۲۱ \div ۲۲/۱)^{۰/۵} = ۳/۸۱$$

$$S = ۰/۰۶۵ + ۰/۰۴۵(۱۸) + ۰/۰۰۶۵(۱۸)^۲ = ۲/۹۸$$

در نتیجه، عامل LS، برابر است با:

$$LS = ۳/۸۱ \times ۲/۹۸ = ۱۱/۳۵$$

تمرین:

مقدار LS را برای دو زیرحوزه‌ی دیگر موجود در شکل ۳-۳ محاسبه کنید.

۳-۴-۱-۵) عامل پوشش گیاهی[1] (C)

این عامل، بیانگر نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیرکشت، به خاک فرسوده شده از همان قطعه زمین در طی یک آیش مداوم و عاری از پوشش یا بقایای گیاهی می‌باشد.

میزان فرسایش در یک زمین همیشه لختِ در حال آیش (که در آن، مقادیر C و P، برابر یک می‌باشند)؛ به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$A = R.K.L.S$$

چنانچه همین قطعه زمین، زیر کشت برده شود؛ بدیهی است که خاک از بین رفته، خیلی

1- Crop canopy

www.PnuNews.com

کمتر از مقدار بالا خواهد بود. در نتیجه، نسبت خاک از بین رفته در این دو حالت، نشان-دهنده‌ی مقدار عامل C خواهد بود.

مقدار عامل C تحت تأثیر نوع گیاه، تعداد بوته در واحد سطح، مقدار بقایای گیاهی، درصد پوشش خاک توسط تاج پوشش گیاهی (پوشش تاجی) و ترتیب کشت در تناوب می‌باشد.

یکی از مشکلات عمده‌ی فرمول جهانی فرسایش در ایران، محاسبه‌ی عامل C است که در اثر پژوهش تعیین نمی‌شود و بیشتر بر اساس تجربه و گاه حدس و گمان برآورد می‌گردد. به هر حال، تعیین مقدار C، به‌ویژه برای زمین‌های کشاورزی، از پیچیده‌ترین عوامل محسوب می‌شود؛ لیکن برای مراتع و جنگل‌ها، جدول‌های ساده‌شده‌ی ۳-۶ و ۳-۷ ارایه گردیده‌اند.

www.PnuNews.com

جدول (۳-۶): مقادیر عامل C برای مراتع دایمی، چراگاه‌ها و زمین‌های رهاشده

آسمانه‌ی گیاهی		نوع	درصد پوشش در تماس با خاک					
نوع و ارتفاع	درصد پوشش	پوشش سطحی*	۰	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۹۵ تا ۱۰۰
بسیار ناچیز	۰	G	۰/۴۵	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۴۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳
		W	۰/۴۵	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۴۳	۰/۰۱۱
گیاهان و درختچه‌های کم‌ارتفاع با ارتفاع متوسط ۰/۵ متر برای سقوط قطره‌ی باران	۲۵	G	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۰۳۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳
		W	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۰۸۲	۰/۰۴۱	۰/۰۱۱
	۵۰	G	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۳۵	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳
		W	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۰۷۵	۰/۰۳۹	۰/۰۱۱
	۷۵	G	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۳۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳
		W	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۶۷	۰/۰۳۸	۰/۰۱۱
درختچه‌ها و بوته‌زارها با ارتفاع متوسط ۲ متر برای سقوط قطره‌ی باران	۲۵	G	۰/۴۰	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۴۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳
		W	۰/۴۰	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۸۵	۰/۰۴۲	۰/۰۱۱
	۵۰	G	۰/۳۴	۰/۱۶	۰/۰۸۵	۰/۰۳۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳
		W	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۰۸۱	۰/۰۴۱	۰/۰۱۱
	۷۵	G	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۳۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳
		W	۰/۲۸	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۷۷	۰/۰۴۰	۰/۰۱۱
درختان و تعداد کمی درختچه با ارتفاع متوسط ۴ متر برای سقوط قطره‌ی باران	۲۵	G	۰/۴۲	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۰۴۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳
		W	۰/۴۲	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۰۷۸	۰/۰۴۲	۰/۰۱۱
	۵۰	G	۰/۳۹	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۴۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳
		W	۰/۳۹	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۰۸۵	۰/۰۴۲	۰/۰۱۱
	۷۵	G	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۰۳۹	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳
		W	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۰۸۳	۰/۰۴۱	۰/۰۱۱

* G= علوفه و گیاهان شبیه علوفه؛ W= گیاهان بوته‌ای پهن‌برگ

توجه داشته باشید که برای درصدهایی که در جدول ۳-۶ موجود نمی‌باشند و یا اگر ترکیبی از گیاهان مختلف موجود باشد؛ باید میانگین وزنی محاسبه نمود.

www.PnuNews.com

جدول (۳-۷): مقادیر عامل C برای اراضی جنگلی

وضعیت رشد	درصد تاج پوشش	لاشبرگ‌های جنگلی	اشکوب پایین	مقدار C
خوب	۷۵ تا ۱۰۰	۹۰ تا ۱۰۰	با کنترل	۰/۰۰۱
			بدون کنترل	۰/۰۰۳ – ۰/۰۱۱
متوسط	۴۰ تا ۷۰	۷۵ تا ۸۵	با کنترل	۰/۰۰۲ – ۰/۰۰۴
			بدون کنترل	۰/۰۱ – ۰/۰۴
ضعیف	۲۰ تا ۳۵	۴۰ تا ۷۰	با کنترل	۰/۰۰۳ – ۰/۰۰۹
			بدون کنترل	۰/۰۲ – ۰/۰۹

در استفاده از جدول ۳-۷ باید موارد زیر را مد نظر داشت:

۱) در پوشش تاجی کمتر از ۲۰ درصد یا جنگل‌هایی که پوشش کف آن‌ها کمتر از ۴۰ درصد است، باید از جدول ۳-۶ استفاده کرد.

۲) فرض بر این است که حداقل ضخامت پوشش کف جنگل، پنج سانتی‌متر می‌باشد.

۳) اشکوب پایین، شامل بوته‌زارها، علف‌زارها و مراتعی است که در بخش‌های باز پوشش تاجی جنگلی می‌باشند. منظور از حالت "با کنترل"، این است که در اشکوب پایین، چرای بیش از حد و آتش‌سوزی‌ها کنترل شوند و منظور از "بدون کنترل"، این است که در اشکوب پایین، چرای بیش از حد و آتش‌سوزی‌ها به‌وفور رخ می‌دهند.

مثال ۶:

مقدار عامل C را برای زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳) به‌دست آورید.

حل:

با توجه به اینکه این زیرحوزه، دارای ۴۰ درصد کاربری مرتعی با پوشش نسبتاً خوب و مابقی، اراضی کشاورزی با C =۰/۶۵ می‌باشد؛ باید میانگین وزنی گرفت. چون کاربری مرتع، ۲۵ درصد پوشش تاجی درختچه‌ای کم‌ارتفاع و ۱۰ درصد پوشش علوفه‌ای دارد، با استفاده از جدول ۳-۶ باید میانگین وزنی بین ۰/۳۶ (برای پوشش صفر) و ۰/۱۷ (برای پوشش ۲۰ درصد) را محاسبه نمود که مقدار آن، برابر ۰/۲۶۵ می‌شود. حال با توجه به درصد هر کاربری، مقدار C محاسبه می‌گردد:

$$C = (۰/۲۶۵ \times ۰/۴۰) + (۰/۶۵ \times ۰/۶۰) = ۰/۵۰$$

www.PnuNews.com

تمرین:
مقدار عامل C را برای دو زیرحوزه‌ی دیگر موجود در شکل ۳-۳ محاسبه کنید.

۳-۴-۱-۶) عامل حفاظت خاک (P)

عامل حفاظت خاک، عبارت است از نسبت مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت‌شده، به زمینی که لخت باشد و در جهت تندترین شیب، شخم زده شود.

به‌طور عمده، منظور از کارهای حفاظتی، کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی است. دیگر عملیات حفاظتی مانند تناوب‌های زراعی، کود دادن، قرار دادن بقایای گیاهی در سطح زمین و غیره، مربوط به عامل مدیریت زراعی (C) می‌باشند.

در بین عملیات حفاظتی، اثر کشت نواری در کاهش مقدار فرسایش، از شخم و کشت در روی خطوط تراز بیشتر است. مقدار P در کشت نواری، تابعی از درجه و طول شیب و نوع تناوب می‌باشد. در هر حال، مقدار P را برای شرایط گوناگون می‌توان از جدول‌های ۳-۸ تا ۳-۱۰ استخراج نمود.

جدول (۳-۸): مقدار P بر اساس کشت روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی

درصد شیب	مقدار P		
	کشت روی خطوط تراز	کشت نواری	تراس‌بندی
۲ – ۱/۱	۰/۶	۰/۳	۰/۶
۷ – ۲/۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۵
۱۲ – ۷/۱	۰/۶	۰/۳	۰/۶
۱۸ – ۱۲/۱	۰/۸	۰/۴	۰/۸
۲۴ – ۱۸/۱	۰/۹	۰/۴۵	۰/۹

www.PnuNews.com

جدول (۳-۹): مقدار P بر اساس شیب و طول آن در کشت روی خطوط تراز

درصد شیب	مقدار P	بیشترین طول شیب (متر)*	
		بدون مالچ سطحی	با مالچ سطحی
۱ - ۲	۰/۶	۱۲۲	۱۵۲
۳ - ۵	۰/۵	۹۱	۱۱۴
۶ - ۸	۰/۵	۶۱	۷۶
۹ - ۱۲	۰/۶	۳۰	۴۶
۱۳ - ۱۶	۰/۷	۲۴	۳۰
۱۷ - ۲۰	۰/۸	۱۸	۲۳
۲۱ - ۲۵	۰/۹	۱۵	۱۹

* اگر پس از کشت، بیش از ۵۰ درصد سطح خاک توسط بقایای گیاهی سال پیش پوشیده شود؛ طول شیب، ۲۵ درصد افزایش می‌یابد.

جدول (۳-۱۰): مقدار P بر اساس تناوب‌های زراعی مختلف در کشت روی خطوط تراز

درصد شیب	مقدار P در تناوب‌های گوناگون			عرض نوار (متر)	بیشترین طول شیب (متر)
	الف*	ب**	پ***		
۱ - ۲	۰/۳۰	۰/۴۵	۰/۶	۴۰	۲۴۴
۳ - ۵	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۵	۳۰	۱۸۳
۶ - ۸	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۵	۳۰	۱۲۲
۹ - ۱۲	۰/۳۰	۰/۴۵	۰/۶	۲۴	۷۳
۱۳ - ۱۶	۰/۳۵	۰/۵۲	۰/۷	۲۴	۴۹
۱۷ - ۲۰	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۸	۱۸	۳۶
۲۱ - ۲۵	۰/۴۵	۰/۶۸	۰/۹	۱۵	۳۰

* تناوب چهار ساله‌ی ذرت، غلات، چمن و چمن

** تناوب زراعت ردیفی، گندم زمستانه و چمن

*** تناوب زراعت ردیفی و گندم

مثال ۷:

مقدار عامل P را برای زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳) به‌دست آورید.

حل:

با توجه به اینکه زیرحوزه مذکور دارای ۴۰ درصد کاربری مرتع با پوشش خوب و مابقی، اراضی کشاورزی به‌صورت کشت روی خطوط تراز و شیب متوسط، ۱۸ درصد می‌باشد؛ برای

www.PnuNews.com

بخش مرتعی، P را باید برابر یک در نظر گرفت (توجه داشته باشید که روش USLE، در واقع، برای زمین‌های کشاورزی ارایه شده است). برای بخش کشاورزی، با توجه به جدول ۳-۸، مقدار P برابر ۰/۸ خواهد بود. حال، برای کل زیرحوزه باید میانگین وزنی محاسبه نمود؛ بنابراین:

$$P = (۱ \times ۰/۴۰) + (۰/۸ \times ۰/۶۰) = ۰/۸۸$$

تمرین:

مقدار عامل P را برای دو زیرحوزه‌ی دیگر موجود در شکل ۳-۳ محاسبه کنید.

مثال ۸:

اگر شکل ۳-۱، مربوط به بارندگی حوزه‌ی آبخیز ارایه‌شده برای مثال سه باشد؛ آن‌گاه، مقدار هدررفت خاک را در زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳) محاسبه نمایید.

حل:

با توجه به مقادیرِ به‌دست آمده در مثال‌های پیش، می‌توان نوشت:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

A= (۶۸۲۳/۷۱ ÷ ۱۰۰) × ۰/۰۲۷ × ۱۱/۳۵ × ۰/۵ × ۰/۸۸ = ۹/۲۰ (تن در هکتار در سال)

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار فرسایش محاسبه‌شده، زیاد می‌باشد. علت این موضوع را باید در مقدار زیاد عامل‌های شیب و طول شیب (LS)، C و P جستجو نمود.

مثال ۹:

اگر در زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳) با انجام عملیات حفاظت مکانیکی، طول شیب به ۱۰۲ متر و درصد شیب به ۱۴ کاهش یابد، مقدار هدررفت خاک، چقدر کاهش خواهد یافت؟

حل:

با محاسبه‌ی L و S، مقدار LS برابر خواهد بود با:

$$LS = ۲/۱۵ \times ۱/۹۷ = ۴/۲۳$$

بنابراین، مقدار هدررفت خاک، برابر خواهد شد با:

A = (۶۸۲۳/۷۱ ÷ ۱۰۰) × ۰/۰۲۷ × ۴/۲۳ × ۰/۵ × ۰/۸۸ = ۳/۴۳ (تن در هکتار در سال)

در نتیجه، هدررفت خاک، ۵/۷۷ تن در هکتار در سال و یا به عبارت دیگر، ۶۲/۷ درصد کاهش یافته است.

مثال ۱۰:

اگر در زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳)، نوع کشت‌وکار به نواری تغییر یابد؛ بدون انجام

www.PnuNews.com

هرگونه عملیات حفاظتی دیگر، مقدار هدررفت خاک چقدر کاهش خواهد یافت؟

حل:

ابتدا باید با توجه به جدول ۳-۸، مقدار P را محاسبه نمود:

$$P = (۰/۶ \times ۰/۴) + (۰/۴ \times ۱) = ۰/۶۴$$

بنابراین، مقدار هدررفت خاک برابر خواهد شد با:

$$A = (۶۸۲۳/۷۱ \div ۱۰۰) \times ۰/۰۲۷ \times ۱۱/۳۵ \times ۰/۵ \times ۰/۶۴ = ۶/۶۹$$ (تن در هکتار در سال)

در نتیجه، هدررفت خاک، ۲/۵۱ تن در هکتار در سال و یا به عبارت دیگر، ۲۷/۳ درصد کاهش یافته است.

با توجه به مثال‌های ۹ و ۱۰ ملاحظه می‌شود که با اعمال مدیریت صحیح می‌توان به‌طور چشم‌گیری از شدت فرسایش کاست.

۳-۴-۱-۷) کمک به برنامه‌ریزی حفاظت خاک

چنانچه در یک برنامه‌ریزی حفاظت خاک، مقدار هدررفت خاک، کمتر از فرسایش مجاز منطقه باشد؛ برنامه‌ریزی مزبور به‌درستی انجام شده است. اگر مقدار هدررفت خاک (A)، مساوی با بیشترین فرسایش مجاز منطقه (Te) در نظر گرفته شود؛ آن‌گاه، معادله‌ی فرسایش به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Te = R.K.LS.C.P$$

از آن‌جایی که حاصل‌ضرب مقادیر R.K.LS برای یک منطقه، ثابت می‌باشد و تنها ضرایب C و P حالت انتخابی دارند؛ بنابراین می‌توان مقدار C.P را به‌صورت زیر محاسبه نمود:

$$C.P = \frac{Te}{R.K.LS}$$

در رابطه‌ی اخیر، مقادیر R، K، LS و Te معلوم هستند. در نتیجه، مقدار C.P قابل محاسبه خواهد بود و می‌توان اعمال مدیریت نمود. برای این‌کار، با کشت گیاهان مخصوص و روش‌های ویژه، بدون انجام هرگونه عملیات حفاظتی (P =۱) می‌توان به مقدار C.P مورد نظر دست یافت. برای این منظور، با انتخاب نوع گیاه و نحوه‌ی کشت، مقدار C مشخص می‌شود. البته می‌توان هم مدیریت زراعی و هم عملیات حفاظتی انجام داد. به دیگر سخن، می‌توان مقدار P را هم کاهش داد که در این‌صورت، مقدار C می‌تواند افزایش یابد و از نقش مدیریت زراعی در حفاظت خاک کاسته شود. البته همان‌طور که در مثال ۹ دیده شد، می‌توان با انجام

www.PnuNews.com

عملیات حفاظت مکانیکی، تا حدی عامل LS را هم تغییر داد؛ ولی اینگونه عملیات، بسیار هزینه‌بَر است و تنها در مواقع بحرانی توجیه‌پذیر خواهد بود.

مثال ۱۱:

اگر در زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳)، مقدار خاک‌سازی، ۲/۱۴ سانتی‌متر در هر صد سال فرض شود؛ مقدار فرسایش مجاز را بر حسب تن در هکتار در سال به‌دست آورید و در مورد مدیریت زراعی و عملیات حفاظتی بحث کنید.

حل:

مقدار خاک‌سازی در یک سال، برابر ۰/۰۲۱۴ متر است. با ضرب این مقدار در مساحت زیرحوزه، مقدار خاک‌سازی به‌دست می‌آید که برابر است با:

(مترمکعب در سال) ۲۳۸۶/۱ = (۱۰۰ ÷ ۰/۰۲۱۴) × ۱۱۱۵۰۰۰۰

با توجه به چگالی ظاهری خاک این زیرحوزه (که طبق جدول ۳-۴، برابر ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب یا تن بر متر مکعب می‌باشد)، خواهیم دید که:

(تن در سال) ۳۳۴۰/۵۴ = ۱/۴ × ۲۳۸۶/۱

اگر این مقدار اخیر بر مساحت زیرحوزه تقسیم شود؛ مقدار خاک‌سازی بر حسب تن در هکتار در سال به‌دست می‌آید که برابر فرسایش مجاز (Te) است. به عبارت دیگر:

(تن در هکتار در سال) ۳ = ۱۱۱۵ ÷ ۳۳۴۰/۵۴ = فرسایش مجاز = مقدار خاک‌سازی

حال با توجه به معلوم بودن مقادیر LS (۱۱/۳۵)، K (۰/۰۲۷)، R (۶۸/۲۳۷۱) و Te (۳)، می‌توان مقدار C.P را محاسبه نمود:

$$CP = ۳ \div (۶۸/۲۳۷۱ \times ۰/۰۲۷ \times ۱۱/۳۵) = ۰/۱۴۳$$

همان‌طور که در مثال ۷ ملاحظه شد، مقدار P برابر ۰/۸۸ است. اگر هیچگونه عملیات حفاظتیِ دیگری انجام نشود، مقدار C برابر خواهد بود با:

$$C = ۰/۱۴۳ \div ۰/۸۸ = ۰/۱۶۳$$

بنابراین، اگر مدیریت زراعی ویژه‌ای را برگزینید که مقدار C در آن، از ۰/۱۶۳ کمتر باشد؛ مقدار فرسایش، کمتر از سه تن در هکتار در سال خواهد شد. بسیاری از تناوب‌های زراعی مرسوم، دارای این مقدار C می‌باشند. چنانچه بجای کشت روی خطوط تراز، از کشت نواری استفاده شود؛ چون مقدار P برای بخش کشاورزی، برابر ۰/۴ (جدول ۳-۸) خواهد شد، مقدار وزنی آن برای زیرحوزه‌ی "الف"، برابر ۰/۶۴ می‌باشد. بنابراین:

www.PnuNews.com

$$C = ۰/۱۴۳ \div ۰/۶۴ = ۰/۲۲۳$$

در این‌صورت، تقریباً تمامی تناوب‌های زراعی، قابل استفاده خواهند بود. دقت داشته باشید که این مقدار C، مربوط به کل زیرحوزه است و اگر بخواهید که بحث خود را دقیق‌تر انجام دهید، باید بخش کشاورزی را از مرتع تفکیک نمایید.

تمرین:

اگر در زیرحوزه‌های "ب" و "پ" (شکل ۳-۳)، با انجام عملیات حفاظتی، طول شیب به ۳۰ درصد، و درصد شیب به نصف کاهش یابند، مقدار هدررفت خاک چقدر کاهش می‌یابد؟ چنانچه در این حالت، ۴۰ درصد از اراضی مرتعی، جنگل‌کاری شوند و کشت‌وکار به‌صورت نواری انجام شود، مقدار هدررفت خاک چقدر کاهش می‌یابد؟ (محاسبات خود را برای پس از جنگل‌کاری با ۲۱ درصد تاج پوشش و پس از رشد جنگل و ایجاد ۹۲ درصد تاج پوشش انجام دهید).

به‌طور کلی، هر چند که در فرمول جهانی فرسایش (USLE)، عوامل مؤثر بر هدررفت خاک به خوبی تبیین شده‌اند؛ لیکن این فرمول، ایرادها و کاستی‌هایی نیز دارد که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان موارد زیر را برشمرد:

۱) معادله‌ی فرسایش جهانی خاک، برای پیش‌بینی فرسایش ناشی از آب حاصل از ذوب برف به‌کار نمی‌رود؛ زیرا R فقط مربوط به فرسایندگی باران است.

۲) با این معادله نمی‌توان میزان رسوب انتقال‌یافته به‌وسیله‌ی نهرها و همچنین رسوبات تجمع‌یافته در پشت مخازن سدها را برآورد نمود.

۳) معادله‌ی جهانی فرسایش برای برآورد فرسایش ورقه‌ای، شیاری و بین شیاری به‌کار می‌رود و در برآورد فرسایش خندقی یا مسیل نهرها به‌کار برده نمی‌شود.

۴) این مدل نمی‌تواند هدررفت خالص خاک (که عبارت از مقدار فرسایش کل خاک، منهای مقدار خاک رسوب‌گذاری‌شده در همان محل می‌باشد) را محاسبه کند؛ بلکه میزان کل فرسایش یا فرسایش ناخالص را برآورد می‌نماید. به عبارت دیگر، در این مدل، میزان رسوب‌گذاری برآورد نمی‌شود.

۵) همان‌طور که گفته شد؛ این معادله برای زمین‌های کشاورزی ارایه شده است و استفاده از آن در برآورد فرسایش اراضی مرتعی و جنگلی دقت لازم را ندارد.

۶) فرمول جهانی فرسایش، تنها برای پیش‌بینی فرسایش در خاک‌هایی که با کشاورزی در

www.PnuNews.com

ارتباط می‌باشند به‌کار می‌رود و در کارهای غیرکشاورزی (مانند میدان‌ها، پارک‌ها و غیره) که برای آن‌ها ضریب C تعیین نشده است، توصیه نمی‌شود.

۷) در این فرمول، منطقه‌ی مورد مطالعه، یکنواخت فرض گردیده است؛ لیکن در عمل، چنین حالتی کمتر اتفاق می‌افتد.

۸) با اینکه نام این فرمول، جهانی است؛ امّا تمام عوامل اندازه‌گیری‌شده برای ارایه‌ی آن، مربوط به کشور آمریکا می‌باشند. بنابراین، با تغییر شرایط در سایر کشورها، ممکن است که نتیجه‌ی مطلوبی به‌دست ندهد.

۹) در ایران، علاوه بر معایب ذکرشده، این فرمول دارای مشکلات دیگری نیز می‌باشد. به عنوان نمونه:

۹-۱) مشکل در محاسبه‌ی میزان R (چراکه ایستگاه‌های سینوپتیک کافی در ایران وجود ندارند).

۹-۲) مشکلات ذکرشده برای محاسبه‌ی K.

۹-۳) در ایران، برای هیچ منطقه‌ای فاکتور C تعیین نشده است.

اگرچه معادله‌ی جهانی هدررفت خاک، به‌عنوان روشی مفید برای برآورد میزان فرسایش خاک به‌طور گسترده از دهه‌ی ۱۹۷۰ به‌وسیله‌ی دست‌اندرکاران حفاظت خاک در ایالات متحده و برخی کشورهای دیگر استفاده شده است؛ امّا پژوهش‌ها و تجربه‌های کسب‌شده طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۹، نگارش جدید و اصلاح‌شده‌ای از این معادله را در ابتدای دهه‌ی ۱۹۹۰ به ارمغان آوردند و نتایج حاصل در یک شکل جدید با عنوان معادله‌ی جهانی اصلاح‌شده‌ی هدررفت خاک (RUSLE) به‌صورت رایانه‌ای ارایه گردیدند.

۳-۴-۲) مدل جهانی اصلاح‌شده‌ی هدررفت خاک (RUSLE)

مدل RUSLE، از همان عوامل اساسی موجود در مدل USLE استفاده می‌کند؛ امّا تعاریف و روابط متقابل این عوامل، در آن بهتر تشریح شده است و سبب بهبود صحت برآورد فرسایش خاک گردیده است. RUSLE، یک برنامه‌ی رایانه‌ای می‌باشد که با کسب تجربه‌های جهانی بیشتر در مورد کاربرد آن، به‌طور مداوم اصلاح و تغییر می‌یابد. با توجه به اینکه مدل USLE، تنها در اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفت؛ مدل RUSLE، وابسته به نوع استفاده از اراضی است. به عبارت دیگر، مدل اخیر، هم در اراضی کشاورزی و هم در اراضی

www.PnuNews.com

منابع طبیعی قابلیت استفاده دارد و به همین دلیل، اصطلاح "وابسته به کاربری سرزمین"[1] را به این مدل نسبت داده‌اند. از طرفی، مدل RUSLE، یک روش تک‌رخداد[2] محسوب می‌گردد، بدین معنا که می‌تواند مقدار فرسایش را برای هر رخداد بارندگی محاسبه کند.

اختلاف‌های عمده‌ای را که بین مدل‌های USLE و RUSLE وجود دارند، می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱) عامل R در مدل USLE بر اساس شرایط بارش متوسط برای مناطق جغرافیایی خاص در آمریکا می‌باشد؛ حال آنکه در مدل RUSLE، مقدار R بر مبنای اطلاعات حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی بیشتری محاسبه می‌شود و بنابراین برای هر نقطه‌ی خاص، به مراتب، دقیق‌تر می‌باشد. همچنین، مدل RUSLE برای بیان اثر ضربه‌های باران بر روی آب تجمع-یافته‌ی سطحی در مناطق مسطح، یک ضریب اصلاحی برای R محاسبه می‌کند.

۲) عامل K در مدل USLE بر اساس بافت خاک، میزان ماده‌ی آلی، نفوذپذیری و سایر عوامل ذاتی مربوط به نوع خاک محاسبه می‌گردد. در مدل RUSLE نیز همانند USLE است، با این تفاوت که برای منظور نمودن تغییرات فصلی (مانند یخ زدن آب و ذوب آن)، رطوبت خاک و تثبیت خاک، تنظیم و تعدیل یافته است.

۳) عامل‌های L و S در مدل USLE بر مبنای طول و تندی شیب، بدون توجه به کاربری اراضی، مد نظر قرار گرفته‌اند؛ ولی در مدل RUSEL، این دو عامل با توجه به معادلات جدید و بر اساس نسبت فرسایش شیاری به بین شیاری بهبود یافته‌اند و برای استفاده در شیب‌های مرکب، تطابق حاصل نموده‌اند.

۴) عامل C در مدل USLE بر اساس توالی کشت‌وکار، بقایای سطحی، ناهمواری سطحی و تاج پوشش گیاهی مد نظر قرار می‌گیرد که با توجه به درصد توزیع بارندگی فرساینده در طی شش مرحله‌ی رشد گیاه استوار می‌باشد. در مدل RUSEL برای محاسبه‌ی C، از عوامل فرعی مانند کاربری قبلی، تاج پوشش گیاهی، پوشش سطحی، ناهمواری سطحی و رطوبت خاک استفاده می‌کند. در واقع، در مدل RUSLE، با تقسیم هر سال تناوب به فواصل ۱۵روزه و محاسبه‌ی نسبت هدررفت خاک برای هر دوره، سبب اصلاح مدل USLE شده است. هر زمان که عملیات خاک‌ورزی، یکی از عوامل فرعی را تغییر دهد؛ نسبت هدررفت خاک، دوباره

1- Landuse dependent
2- Single erent

www.PnuNews.com

محاسبه می‌شود. مدل RUSLE، برآوردهای بهتری از تغییرات هدررفت خاک را در سراسر سال، به‌ویژه در ارتباط با پسماندهای سطحی و نزدیک سطح خاک و اثرات اقلیم در تجزیه‌ی پسماندهای گیاهی ارایه می‌دهد.

۵) عامل P در مدل USEL بر پایه‌ی عملیاتی که سبب کاهش سرعت روان‌آب و به تبع آن، کاهش فرسایش خاک می‌شود، استوار است؛ حال آن‌که در مدل RUSEL، مقدار عامل P بر اساس گروه‌های هیدرولوژیک خاک، تندی شیب ردیف‌های کشت، ارتفاع برجستگی‌ها و میزان شاخص فرسایش یک رگبار انفرادی با دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله محاسبه می‌گردد. همچنین، مدل RUSLE، اثرات کشت نواری را با توجه به ظرفیت حمل جریان در نوارهای متراکم و در ارتباط با میزان رسوب رسیده به آن نوارها برآورد می‌کند. توجه داشته باشید که عامل P برای برنامه‌ریزی حفاظت خاک، میزان و محل رسوب‌گذاری را مد نظر قرار می‌دهد.

۳-۴-۳) مدل جهانی تعدیل‌یافته‌ی هدررفت خاک (MUSLE)[1]

معادله‌ی جهانی فرسایش خاک (USLE) برای برآورد میزان هدررفت خاک از یک قطعه زمین و یا در طول یک شیب ارایه شده است و با استفاده از آن نمی‌توان میزان رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز را تخمین زد. به‌منظور محاسبه‌ی مقدار رسوب بر اساس این معادله، ویلیامز و برنت[2] در سال ۱۹۷۵، ضریب "نسبت تحویل رسوب" (SDR)[3] را معرفی نمودند. نسبت تحویل رسوب، به ویژگی‌های حوزه (فیزیوگرافی و زهکشی)، رخدادهای اقلیمی و کاربری اراضی بستگی دارد.

بررسی‌های انجام‌شده نشان دادند که رابطه‌ی بین عوامل فرسایندگی و میزان تولید رسوب، غیرخطی و ضعیف می‌باشد. بنابراین به‌علت متغیر بودن نسبت‌های تحویل رسوب محاسبه‌شده و غیرخطی بودن رابطه‌ی بین R و میزان تولید رسوب، عامل بارندگی مدل USLE با عامل روان‌آب جایگزین گردید و مدل مزبور، به مدل MUSLE تغییرنام یافت. با جایگزینی عامل بارندگی توسط عامل روان‌آب، دیگر ضرورتی به استفاده از نسبت تحویل رسوب در معادله‌ی جهانی نمی‌باشد. در مدل MUSLE نقش روان‌آب شاخص است و از آن می‌توان برای

1- Modified Universal Soil Loss Equation; MUSLE
2- Williams and Brent
3- Soil Delivery Ratio; SDR

www.PnuNews.com

محاسبه‌ی رسوب سالانه بهره جست. این معادله بجای برآورد فرسایش خاک، برای برآورد رسوب‌دهی از خروجی یک حوزه‌ی آبخیز و بر مبنای یک رگبار منفرد ارایه شده است. فرمول این مدل، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$A = ۹۵(Q.q_P)^{۰/۵۶} KLSCP$$

که در آن:

A= مقدار رسوب‌دهی یک رویداد (رگبار) بر حسب تن

Q= حجم روان‌آب بر حسب ایکر- فوت

q_P= شدت یا دبی بیشینه‌ی روان‌آب بر حسب فوت‌مکعب بر ثانیه

K، L، S، C و P نیز بیانگر همان عوامل گفته‌شده در معادله‌ی جهانی فرسایش خاک (USLE) می‌باشند.

معادله‌ی بالا را در سامانه‌ی متریک، به‌صورت زیر می‌توان بازنویسی نمود:

$$A = ۱۱۸۰۰(Q.q_P)^{۰/۵۶} KLSCP$$

که در این فرمول:

A= مقدار رسوب‌دهی یک رویداد بر حسب کیلوگرم

Q= حجم روان‌آب بر حسب مترمکعب

q_P= شدت یا دبی بیشینه‌ی روان‌آب بر حسب مترمکعب بر ثانیه

توجه داشته باشید که شدت یا دبی بیشینه و حجم روان‌آب از طریق روش‌های توزیع آماری، برآورد می‌گردند. همچنین، به یاد داشته باشید که معادله‌ی ویلیامز (مدل MUSLE)، بر مبنای فرضیات زیر استوار می‌باشد:

۱) توزیع مالچ با پوشش گیاهی، تصادفی است.

۲) مالچ با عمق مناسب، در منطقه وجود دارد.

در هر حال، نتایج مدل مزبور، وقتی مطلوب خواهند بود که این روش در حوزه‌های آبخیز با اندازه و شیب‌های متفاوت، آزمون شده باشد. البته به‌طور معمول، مقدار رسوب برای یک رگبار کوتاه‌مدت، بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود و برای یک رگبار طولانی‌مدت، کمتر از مقدار واقعی می‌باشد.

مثال ۱۲:

دبی و حجم روان‌آب بارش مربوط به مثال یک، در جدول ۳-۳ ارایه شده‌اند. مقدار

www.PnuNews.com

رسوب‌دهی را برای زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳) (بدون عملیات حفاظتی) به‌دست آورید. مقدار فرسایش خالص برای این حوزه با بارش ذکرشده چقدر است؟

حل:

برای محاسبه‌ی مقدار رسوب‌دهی، از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$A = ۱۱۸۰۰(Q.q_P)^{۰/۵۶}.K.L.S.C.P =$$

$$= ۱۱۸۰۰\times(۴۴۶۰۰ \times ۷)^{۰/۵۶} \times ۰/۰۲۷ \times ۱۱/۳۵ \times ۰/۵ \times ۰/۸۸ = ۱۸۹۹۲۲۶/۴ \text{ (کیلوگرم)}$$

اگر مقدار به‌دست آمده بر مساحت حوزه تقسیم شود؛ آن‌گاه:

$$A = (۱۸۹۹۲۲۶/۴ \div (۱۱۱۵ \times ۱۰۰۰)) = ۱/۷۰ \text{ (تن در هکتار)}$$

بنابراین، مقدار فرسایش خالص خواهد شد:

فرسایش خالص = فرسایش ناخالص - رسوب = ۹/۲ - ۱/۷ = ۷/۵ (تن در هکتار در سال)

توجه داشته باشید که مقدار فرسایش ناخالص، پیش از این، در مثال هشت محاسبه شده بود.

۳-۴-۴) مدل پسیاک (PSIAC)[1]

این روش در سال ۱۹۶۸ به‌منظور محاسبه‌ی فرسایش خاک و تولید رسوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارایه گردید. در این مدل، نُه عامل مختلف برای محاسبه و برآورد رسوب در نظر گرفته شده‌اند که این عوامل عبارتند از:

۱) زمین‌شناسی سطحی
۲) خاک
۳) آب و هوا
۴) روان‌آب
۵) ناهمواری‌ها
۶) پوشش زمین
۷) کاربری اراضی
۸) فرسایش مناطق بالادست[2]

1- Pacific Southwest Inter Agency Committee; PSIAC
2- Upland erosion

www.PnuNews.com

۹) فرسیاش رودخانه‌ای

ارزش هر عامل در محاسبه‌ی فرسایش، از طریق رتبه‌ای که برای آن عامل استخراج می‌شود، مد نظر قرار می‌گیرد. به عبارت بهتر، هر کدام از عامل‌های نُه‌گانه‌ی بالا، دارای یک محدوده‌ی مشخص از نمره‌ی تأثیر می‌باشند که در جدول ۳-۱۱ ارایه شده‌اند.

این روش در سال ۱۹۸۲ مورد بررسی مجدد قرار گرفت و برای هر یک از عوامل نُه‌گانه‌ی بالا، فرمولی در نظر گرفته شد تا ارقام به‌دست آمده، به واقعیت نزدیک‌تر باشند. روش پسیاک، تا کنون در حوزه‌های آبخیز دز، میناب، زاینده‌رود، کارون، مارون و دماوند مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج رضابت‌بخشی را به همراه داشته است.

www.PnuNews.com

جدول (۳-۱۱): نمره‌ی تأثیر عوامل در روش پسیاک

ردیف	عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب	نمره‌ی تأثیر عوامل	توضیحات
۱	زمین‌شناسی سطحی	۰ تا۱۰	با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی
۲	خاک	۰ تا ۱۰	برای تعیین نمره‌ی این فاکتور، بهتر است که K محاسبه گردد.
۳	آب و هوا	۰ تا ۱۰	بر اساس وضعیت و شدت بارندگی در حوزه‌ی آبخیز، نمره‌ی آن تعیین می‌شود.
۴	روان‌آب	۰ تا ۱۰	نمره‌ی روان‌آب بر اساس گروه‌های هیدرولوژیکی (پتانسیل خاک برای تولید روان‌آب) تعیین می‌گردد. گروه هیدرولوژیکی A، دارای کمترین روان‌آب و پایین‌ترین نمره می‌باشد و گروه هیدرولوژیکی D، از بیشترین روان‌آب و بالاترین نمره برخوردار است.
۵	پستی و بلندی	۰ تا ۲۰	اگر شیب حوزه، بیش از ۳۰ درصد باشد؛ نمره‌ی ۲۰ در نظر گرفته می‌شود. شیب حوزه‌ی کمتر از ۲۰ درصد، نمره‌ی ۱۰ می‌گیرد و شیب کمتر از ۱۰ درصد، نمره‌ی صفر به خود اختصاص می‌دهد.
۶	پوشش زمین	۱۰- تا ۱۰+	هر چه پوشش حوزه بهتر باشد؛ نمره‌ی آن کمتر می‌شود.
۷	کاربری اراضی	۱۰- تا ۱۰+	این عامل و همین‌طور عامل ردیف ۶، به علّت داشتن نمره‌ی منفی، تأثیر بیشتری در کاهش فرسایش و رسوب دارند.
۸	وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه	۰ تا ۲۵	در صورت عدم مشاهده‌ی فرسایش در سطح خاک، نمره‌ی صفر می‌گیرد و در صورتی که بیش از ۵۰ درصد سطح زمین، درگیر فرسایش شیاری و خندقی باشد؛ نمره‌ی ۲۵ می‌گیرد.
۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	۰ تا ۲۵	از عامل فرسایش خندقی موجود در روش سازمان مدیریت اراضی آمریکا (BLM)[1] استفاده می‌شود.

۳-۴-۴-۱) ارزیابی عوامل نُه‌گانه‌ی مؤثر در فرسایش و رسوب‌دهی

برای ارزیابی عوامل نُه‌گانه‌ی مؤثر در فرسایش و رسوب‌دهی، باید نقشه‌ی یگان‌های سرزمین یا واحدهای کاری (مانند نقشه‌ی اجزای واحد اراضی و یا نقشه‌ی خاک) تهیه شود. با توجه به تعدد و پراکندگی یگان‌های جداشده، باید هر کدام از آن‌ها را به‌صورت پراکنده، حداقل در سه قسمت مورد ارزیابی قرار داد. به دیگر سخن، برای هر واحد، حداقل باید سه نقطه‌ی

1- Bureau of Land Management; BLM

www.PnuNews.com

مشاهداتی داشت. سپس، نمره‌ی ارزیابی عامل‌ها با استفاده از روش پسیاک تعدیل‌یافته (MPSIAC)[1] در هر کدام از یگان‌های جداشده تعیین می‌گردد و در نهایت، درجه‌ی رسوب‌دهی به‌دست می‌آید.

در ادامه، به تشریح و نحوه‌ی محاسبه‌ی هر یک از پارامترهای مدل MPSIAC پرداخته می‌شود.

۳-۴-۴-۱-۱) زمین‌شناسی سطحی

برای تعیین عامل زمین‌شناسی سطحی اراضی، از نقشه‌ی زمین‌شناسی استفاده می‌شود. چنانچه هر کدام از یگان‌های جداشده، از نظر زمین‌شناسی سطحی یکنواخت باشند؛ مشکلی برای تعیین نمره‌ی زمین‌شناسی وجود ندارد. لیکن اگر در یک یگان، چند نوع ساختار زمین‌شناسی موجود باشد؛ بهتر است که آن یگان را به یگان‌های همگن‌تر بخش نمود و میانگین حسابی عامل‌های زمین‌شناسی سطحی این واحدهای همگن را گزارش کرد. البته می‌توان با توجه به مساحت هر ساختار زمین‌شناسی، یک میانگین وزنی برای ارزیابی نمره‌ی عامل زمین‌شناسی سطحی محاسبه نمود. سپس با استفاده از فرمول زیر و با توجه به جدول ۳-۱۲، نمره‌ی زمین‌شناسی سطحی تعیین می‌شود:

$$Y_1 = X_1$$

که در این فرمول:

X_1 = شاخص فرسایش زمین‌شناسی سطحی است که بر اساس نوع سنگ و سختی آن تعیین می‌گردد.

1- Modified PSIAC; MPSIAC

www.PnuNews.com

جدول (۳-۱۲): چگونگی تعیین مقدار X_1 بر مبنای نوع سازند

نمره‌ی کیفی	کم	متوسط	زیاد
نمره‌ی کمّی	۰	۵	۱۰
ساختار زمین‌شناسی	مارن و شیل	سنگ‌های با سختی متوسط و سنگ‌های دگرگونی	سازندهای سخت و فشرده (آذرین)
	گچ و مارن املاح‌دار	سنگ‌های خردشده یا هوادیده‌ی متوسط	دولومیت‌ها
	ماسه‌سنگ	سنگ با درز و شکاف متوسط	لایه‌های ضخیم آبرفتی
	سنگ‌های سخت به‌همراه لایه‌های مارن یا شیل	کنگلومرا	گرانیت‌ها
		سنگ آهک با لایه‌های ضخیم	انواع سنگ‌های متبلور

۳-۴-۴-۱-۲) خاک

نخست با استفاده از خصوصیات فیزیکی خاک‌رخ شاهد شامل ساختمان، درصد شن ریز، درصد مواد آلی، درصد شن ۰/۱ تا ۲ میلی‌متر و نفوذپذیری، فرسایش‌پذیری خاک‌ها (K) با استفاده از نموگراف ویشمایر (شکل ۳-۲) تعیین می‌شود. سپس عامل خاک با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$Y_2 = ۱۶/۶X_2$$

$$X_2 = K$$

۳-۴-۴-۱-۳) آب و هوا

آب و هوا نقش اساسی در توسعه‌ی پوشش گیاهی، نوع خاک و مقدار تولید روان‌آب دارد. برای محاسبه‌ی نمره‌ی عامل اقلیم از فرمول استفاده می‌شود:

$$Y_3 = ۰/۰۲X_3$$

که در آن:

X_3= مقدار بارندگی شش‌ساعته‌ی حوزه با دوره‌ی بازگشت دو سال (بر حسب میلی‌متر)

این اطلاعات از جدول‌های اقلیمی یا مطالعات هیدرولوژی منطقه‌ی مطالعاتی به‌دست می‌آیند.

www.PnuNews.com

۳-۴-۴-۱-۴) روان‌آب

روان‌آب تولیدشده در حوزه‌ی آبخیز، نقش مهمی در ایجاد فرسایش و انتقال رسوب دارد. مقدار و شدت بارندگی در مقدار روان‌آب و شدت آن و در نتیجه، تخریب خاک و حمل رسوب تأثیر دارد.

پتانسیل تولید روان‌آب با استفاده از اطلاعات خاک‌رخ‌ها از قبیل بافت، ساختمان، عمق خاک، لایه‌ی محدودکننده و مقدار سنگ‌ریزه در قالب گروه‌های هیدرولوژیکی A، B، C و D (به کتاب‌های هیدرولوژی مراجعه شود) بررسی می‌گردد و سپس با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Y_{۴} = ۰/۲X_{۴}$$

$$X_{۴} = ۰/۲ \times (۰/۰۳R + ۵۰QP) = ۰/۰۰۶R + ۱۰QP$$

که در آن:

QP= دبی ویژه‌ی بیشینه‌ی سالانه (بر حسب مترمکعب در ثانیه در کیلومترمربع)

مقدار QP، از تقسیم دبی بیشینه‌ی سیلاب هر واحد به مساحت آن واحد به‌دست می‌آید.

R= ارتفاع روان‌آب سالانه (بر حسب میلی‌متر)

۳-۴-۴-۱-۵) ناهمواری‌ها (پستی و بلندی‌ها)

شیب یک حوزه‌ی آبخیز، رابطه‌ی مهم و پیچیده‌ای با مقدار روان‌آب و سرعت جریانات سطحی و نیز رطوبت خاک دارد. شیب‌های تند باعث افزایش سرعت جریان آب و کاهش زمان تمرکز[1] حوزه می‌گردند. ظرفیت نفوذ خاک، تحت تأثیر شیب منطقه می‌باشد و با افزایش شیب، میزان آب کمتری در داخل خاک نفوذ می‌کند و سبب افزایش فرسایش می‌شود.

برای محاسبه‌ی نمره‌ی ناهمواری‌ها از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$Y_{۵} = ۰/۳۳X_{۵}$$

که در آن:

$X_{۵}$= مقدار شیب متوسط در هر کدام از واحدهای جداشده (بر حسب درصد)

مقدار $X_{۵}$، با استفاده از نقشه‌ی شیب و یا بازدیدهای صحرایی تعیین می‌شود.

1- Concentration time

www.PnuNews.com

۳-۴-۴-۱-۶) پوشش زمین

منظور از پوشش زمین، هرگونه پوششی است که خاک را در مقابل عوامل فرساینده‌ی قطره‌های باران و روان‌آب سطحی محافظت می‌نماید که می‌تواند شامل پوشش گیاهی، لاشبرگ سطحی و پوشش سنگی ریز و درشت باشد.

یک پوشش مناسب، انرژی جنبشی قطره‌های باران را کاهش می‌دهد و باعث نفوذ روان‌آب سطحی می‌گردد. پوشش زمین در هر کدام از واحدها در قسمت‌های مختلف منطقه برآورد می‌شود و با استفاده از فرمول زیر، نمره‌ی پوشش تعیین می‌گردد:

$$Y_۶ = ۰/۲ X_۶$$

که در آن:

$X_۶$ = درصد زمین لخت

۳-۴-۴-۱-۷) کاربری سرزمین

نوع استفاده از زمین، نقش اساسی در تولید فرسایش و رسوب دارد. استفاده از اراضی، بدون توجه به قابلیت و استعداد آن‌ها موجب فرسایش خاک می‌شود. در صحرا درصد تاج پوشش گیاهی یا پوشش تاجی در هر یک از واحدها تعیین می‌گردد. البته از نتایج مطالعات پوشش گیاهی نیز می‌توان استفاده کرد. سپس با استفاده از فرمول زیر، نمره‌ی کاربری سرزمین تعیین می‌گردد:

$$Y_۷ = ۲۰ - ۰/۲X_۷$$

که در آن:

$X_۷$= درصد تاج پوشش گیاهی

۳-۴-۴-۱-۸) فرسایش مناطق بالادست

این نوع فرسایش، بیشتر بر روی اراضی شیب‌دار صورت می‌گیرد و در حقیقت، وضعیت کنونی فرسایش خاک را نشان می‌دهد. برای تعیین نمره‌ی این عامل از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$Y_۸ = ۰/۲۵X_۸$$

که در آن:

www.PnuNews.com

$X_۸$ = عامل سطحی

برای تعیین عامل سطحی، از روش سازمان مدیریت اراضی آمریکا (BLM) استفاده می‌شود (به بخش ۳-۴-۵ مراجعه نمایید).

۳-۴-۴-۱-۹) فرسایش رودخانه‌ای

در این عامل، خندق‌ها از نظر تعداد و اندازه مهم هستند و خطر آن‌ها در ایجاد فرسایش بررسی می‌شود. به‌منظور ارزیابی این عامل، از نمره‌هایی که برای خندق‌ها در بررسی عامل سطحی خاک توسط روش BLM به‌دست می‌آیند، استفاده می‌شود:

$$Y_۹ = ۱/۶۷X_۹$$

که در آن:

$X_۹$ = نمره‌ی پایانی برای فرسایش خندقی در روش BLM (به بخش ۳-۴-۵ مراجعه نمایید).

پس از تعیین عامل‌های نُه‌گانه در هر یک از واحدهای تعیین‌شده، مجموع آن‌ها نشان‌دهنده‌ی میزان فرسایش و رسوب در هر واحد خواهد بود که با توجه به جدول ۳-۱۳، کلاس فرسایشی خاک و میزان تولید رسوب سالانه‌ی آن به‌دست می‌آید.

www.PnuNews.com

جدول (۳-۱۳): تعیین میزان فرسایش و رسوب در هر واحد بر اساس جمع عامل‌های نُه‌گانه

کلاس فرسایش	طبقه‌بندی کیفی فرسایش	جمع عامل‌های نُه‌گانه (MPSIAC)	تولید رسوب سالانه m^3/Km^2	تولید رسوب سالانه ton/Km^2
V	خیلی زیاد	>۱۰۰	>۱۴۵۰	>۲۵۰۰
IV	زیاد	۷۵ -۱۰۰	۴۵۰ – ۱۴۵۰	۱۵۰۰ – ۲۵۰۰
III	متوسط	۵۰ -۷۵	۲۵۰ – ۴۵۰	۵۰۰ – ۱۵۰۰
II	کم	۲۵ – ۵۰	۹۵ – ۲۵۰	۲۰۰ – ۵۰۰
I	خیلی کم	۰ - ۲۵	<۹۵	<۲۰۰

۳-۴-۴-۲) محاسبه و تعیین میزان فرسایش و رسوب

به‌منظور دقت بیشتر برای محاسبه‌ی میزان فرسایش و رسوب، ابتدا میزان رسوب از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$Qs = ۳۸/۷۷ \, e^{۰/۰۳۵۳ R}$$

که در این فرمول:

Qs= میزان رسوب (بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال)

e= عدد ثابت ۲/۷۱۸

R= درجه‌ی رسوب‌دهی (به عبارت دیگر، مجموع عامل‌های نُه‌گانه)

پس از محاسبه‌ی رسوب ویژه در یک حوزه یا واحد کاری توسط فرمول بالا، برای به‌دست آوردن فرسایش ویژه در آن حوزه از رابطه‌ی زیر استفاده می‌گردد:

$$E = \frac{Qs}{SDR}$$

که در آن:

E= مقدار فرسایش ویژه‌ی حوزه

SDR= نسبت تحویل رسوب

نسبت تحویل رسوب (SDR)، بخشی از مواد فرسایش‌یافته است که به‌صورت رسوب در می‌آید و به عوامل زیر بستگی دارد:

۱) مساحت حوزه‌ی آبخیز: هر چه مساحت حوزه‌ی آبخیز بیشتر باشد، SDR کمتر می‌شود.

www.PnuNews.com

۲) شیب: هر چه شیب متوسط حوزه‌ی آبخیز بیشتر باشد، SDR بیشتر می‌شود.

۳) بافت یا نوع خاک: بافت‌های ریز و بافت‌های سیلتی، SDR را زیاد می‌کنند و در مقابل، بافت‌های شنی، SDR آن‌ها کمتر است. بافت خاک در حوزه‌های کوچک، بیشتر تأثیر خود را نشان می‌دهد.

مقدار نسبت تحویل رسوب (SDR) را توسط فرمول یا نموگراف می‌توان محاسبه نمود. فرمول زیر، نشانگر چگونگی محاسبه‌ی این ویژگی می‌باشد:

$$\log SDR = ۱/۹۳۸۴ - ۰/۱۴۱۹۱ \log A$$

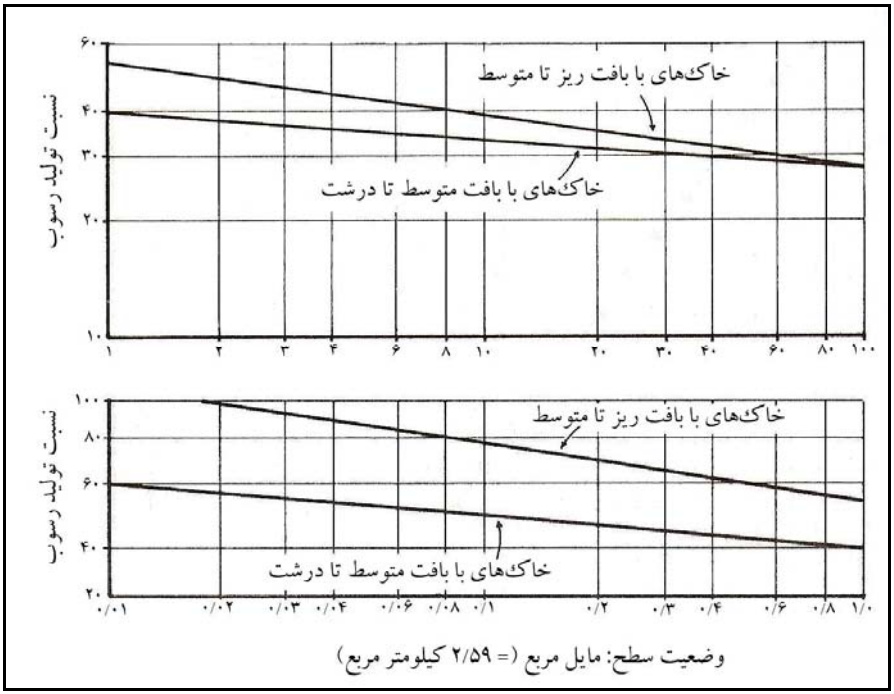
که در آن:

A= سطح حوزه‌ی آبخیز (بر حسب کیلومترمربع)

توجه داشته باشید که مقدار SDR محاسبه‌شده از فرمول بالا، بر حسب درصد خواهد بود.

همچنین، از طریق مدل BLM می‌توان نسبت تحویل رسوب را محاسبه نمود که در این مدل، نسبت تحویل رسوب با RU نشان داده شده است. بعلاوه، توسط نموگراف ارایه‌شده در شکل ۳-۵ و با در اختیار داشتن بافت خاک و سطح حوزه می‌توان نسبت تحویل رسوب را تعیین کرد.

www.PnuNews.com



شکل (۳-۵): چگونگی محاسبه‌ی نسبت تحویل رسوب یک حوزه

مثال ۱۳:

مقدار هدررفت خاک را در زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳) با روش پسیاک تعیین کنید.

حل:

بر اساس اطلاعات موجود در جدول‌های ۳-۳ و ۳-۴ و نیز شرح زیرحوزه‌ی مربوطه، ابتدا باید مانند جدول ۳-۱۴، عامل‌های نُه‌گانه را محاسبه نمود.

www.PnuNews.com

جدول (۳-۱۴): چگونگی محاسبه‌ی عامل‌های نُه‌گانه‌ی مدل پسیاک برای مثال ۱۳

ردیف	عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب	توضیحات (مقادیر X)	چگونگی محاسبه‌ی Y	Y
۱	زمین‌شناسی سطحی	کنگلومرا و سنگ آهک	۵	۵
۲	خاک	K = ۰/۰۲۷	(۱۶/۶ ×۰/۰۲۷)	۰/۴۵
۳	آب و هوا	۶ میلی‌متر	(۰/۲ × ۶)	۱/۲
۴	روان‌آب	Qp = (۷÷۱۱/۱۵) =۰/۶۳ (۷ میلی‌متر در ۱۱۱۵ ساعت) و R =۴	(۰/۰۰۶ ×۴)+(۱۰×۰/۶۳)	۶/۳۲
۵	پستی و بلندی	۱۸	(۰/۳۳ ×۱۸)	۵/۹۴
۶	پوشش زمین	درصد زمین لخت = ۳۰ درصد	(۰/۲ × ۳۰)	۶
۷	استفاده از زمین	(۴۰×۰/۴۰) + (۸۰×۰/۶۰) (میانگین وزنی با توجه به درصد تاج پوشش و درصد کاربری اراضی)	۲۰ - (۰/۲ × ۶۴)	۷/۲
۸	وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه	مقدار کمی فرسایش شیاری = نمره‌ی ۵ (با توجه به جدول ۳-۱۵)	(۰/۲۵ × ۵)	۱/۲۵
۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	گاهی فرسایش خندقی پایدار = نمره‌ی ۱ (با توجه به جدول ۳-۱۵)	(۱/۶۷ × ۱)	۱/۶۷
		جمع کل		۳۵/۰۳

با توجه به مجموع اعداد به‌دست آمده (۳۵/۰۳) و بر مبنای جدول ۳-۱۳، طبقه‌ی فرسایش II یا کم خواهد بود. همچنین، مقدار رسوب، برابر است با:

$$Qs = ۳۸/۷۷ \times e^{(۰/۰۳۵۳ \times ۳۵/۰۳)} = ۱۳۳/۵$$ (مترمکعب در کیلومترمربع در سال)

با توجه به چگالی ظاهری خاک در این زیرحوزه ($۱/۴\ g\ cm^{-۳}$)، می‌توان نوشت:

$$Qs = (۱۳۳/۵ \div ۱۰۰) \times ۱/۴ = ۱/۸۷$$ (تن در هکتار در سال)

با توجه به مساحت زیرحوزه (۱۱۱۵ ha)، مقدار نسبت تحویل رسوب، مساوی خواهد بود با:

$$\log SDR = ۱/۹۳۸۴ - ۰/۱۴۹۱ \times \log ۱۱/۱۵ = ۱/۷۸۲$$

$$SDR = ۶۰/۵$$ (درصد)

بنابراین، مقدار فرسایش این زیرحوزه، برابر است با:

$$E = ۱۳۳/۵ \div ۰/۶۰۵ = ۲۲۰/۶۶$$ (مترمکعب در کیلومترمربع در سال)

www.PnuNews.com

که با توجه به چگالی ظاهری خاک زیرحوزه‌ی مزبور، می‌توان نوشت:

E = (۲۲۰/۶۶ ÷ ۱۰۰) × ۱/۴ = ۳/۰۹ (تن در هکتار در سال)

۳-۴-۴-۳) محاسن روش پسیاک تعدیل‌یافته

۱) مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۲) در این روش به سامانه‌های مختلف، توجه بیشتری شده است و اغلب عوامل مورد مطالعه در ارتباط مستقیم با فرسایش می‌باشند.

۳) با توجه به قدمت روش مزبور و همچنین بررسی‌های زیادی که در کشورهای مختلف انجام گرفته‌اند، با این روش می‌توان میزان تولید رسوب را نزدیک به واقعیت تخمین زد. در صورتی که در روش‌های دیگر، امکان چنین موضوعی وجود ندارد.

۴) با این روش می‌توان میزان رسوب و فرسایش را به‌صورت کیفی و کمّی به‌دست آورد.

۵) برآورد حجم کل رسوب سالانه در هر واحد کاری و در نهایت، در یک حوزه‌ی آبخیز، امکان‌پذیر می‌باشد.

۶) امکان بررسی انواع مختلف فرسایش در یک حوزه‌ی آبخیز وجود دارد.

۷) در کارهای پژوهشی با این روش می‌توان از روش‌های آماری نیز استفاده نمود.

۸) بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که موقعی روش پسیاک نتایج قابل قبول‌تری را در دسترس قرار می‌دهد که ابتدا با استفاده روش ژئومرفولوژی، واحدهای کاری یا یگان‌های مختلف منطقه جداسازی شوند و سپس، در هر کدام از آن‌ها به برآورد میزان فرسایش و رسوب اقدام گردد.

۳-۴-۴-۴) معایب روش پسیاک تعدیل‌یافته

۱) در روش تجدیدنظر شده‌ی پسیاک، به عامل خاک، ارزش بیشتری داده شده است. بنابراین، جنبه‌های کشاورزی این مدل، نسبت به دیگر کاربری‌ها، پُررنگ‌تر می‌باشند.

۲) از میان عوامل ناهمواری مختلف، تنها به شیب متوسط حوزه، در این روش توجه شده است.

۳) فرسایش رودخانه‌ای، به‌عنوان یک عامل مؤثر به‌کار گرفته شده است؛ در حالی که ممکن است در مناطق مختلف، سامانه‌های فرسایشی، متفاوت باشند.

www.PnuNews.com

۴) دامنه‌ی زیاد نمرات عوامل نُه‌گانه‌ی گفته‌شده برای این روش، موجب بروز برخی از مشکلات برای کارشناسان در فرایند تصمیم‌گیری می‌شود.

۳-۴-۵) روش سازمان مدیریت اراضی آمریکا (BLM)

روش BLM بر اساس ارزیابی هفت عامل مؤثر بر فرسایش خاک و دادن امتیازی بین صفر تا ۱۵ (بر حسب میزان تأثیر آن‌ها در فرسایش) به هر کدام از این عوامل، پایه‌ریزی شده است که جدول ۳-۱۵، بیانگر نحوه‌ی امتیازدهی به این عامل‌های هفت‌گانه می‌باشد.

هرچند که در این روش، ارزیابی‌ها به‌صورت کمّی انجام می‌شوند؛ ولی نتایج نهایی، به‌صورت کیفی ارایه می‌گردند. در نتیجه، مدل BLM، یک روشی کیفی برای ارزیابی وضعیت فرسایش خاک محسوب می‌گردد.

سازمان مدیریت اراضی آمریکا، وضعیت فرسایش را بر مبنای مجموع نمرات عوامل هفت-گانه‌ی مزبور، در جدولی همانند جدول ۳-۱۶ ارایه داده است. ارقام این جدول، نشانگر وضعیت فرسایش هر یک از واحدهای هیدرولوژیک یا زیرحوزه‌های فرعی یک حوزه‌ی آبخیز می‌باشند.

www.PnuNews.com

جدول (۳-۱۵): نحوه‌ی امتیازدهی هفت عامل مورد نیاز مدل BLM

شرح	حدود امتیاز	وضعیت ظاهری
حرکت توده‌ای خاک	۰ تا ۳	حرکت قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود.
	۴ تا ۵	حرکت مختصر ذرات خاک، قابل درک است.
	۶ تا ۸	حرکت متوسط ذرات خاک، قابل مشاهده است. تعداد کمی تراس با ارتفاع کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر تشکیل شده‌اند.
	۹ تا ۱۱	آثار تجمع خاک و ذرات مختلف در مقابل موانع کوچک مشهود می‌باشد که با هر روان‌آب، این عمل اتفاق می‌افتد.
	۱۲ تا ۱۴	خاک زیرین در بیشتر مناطق ظاهر می‌گردد و به وضوح دیده می‌شود. تپه‌های شنی و فرسایش بادی هم دیده می‌شود.
پوشش لاشبرگ	۰ تا ۳	تجمع بقایای گیاهی در یک منطقه دیده می‌شود.
	۴ تا ۶	بقایای گیاهی، دارای حرکت کمی می‌باشند.
	۷ تا ۸	حرکت متوسط لاشبرگ آشکار است و در مقابل موانع، رسوب کرده است.
	۹ تا ۱۱	حرکت زیاد لاشبرگ آشکار است و مقدار زیادی در مقابل موانع، رسوب کرده است.
	۱۲ تا ۱۴	لاشبرگ سطحی، خیلی کم است.
پوشش سنگی سطح زمین	۰ تا ۲	حضور سنگ و سنگ‌ریزه به خوبی توسعه‌یافته و به‌صورت یکسان پراکنده است.
	۳ تا ۵	حضور سنگ و سنگ‌ریزه به‌صورت لکه‌لکه و پراکنده است.
	۶ تا ۸	مقداری سنگ کوچک و بزرگ با پراکنش خیلی ضعیف وجود دارند.
	۹ تا ۱۱	سنگ و سنگ‌ریزه‌ها به‌صورت سطوح منفرد هستند و حرکت کمی را نشان می‌دهند.
	۱۲ تا ۱۴	سنگ و سنگ‌ریزه‌ها به میزان زیاد وجود دارند؛ امّا به‌وسیله‌ی شیارها و خندق‌ها از هم جدا شده‌اند.
قطعات سنگی تحکیم‌یافته	۰ تا ۳	شواهد قابل ملاحضه‌ای دیده نمی‌شود (بدون فرسایش ستونی یا پاسنگی).
	۴ تا ۶	در مسیرهای جریان، فرسایش ستونی به میزان کم وجود دارد.
	۷ تا ۹	وجود سنگ‌های کوچک و گیاهان در شبکه‌ی جریان مشهود است.
	۱۰ تا ۱۲	سنگ‌های کوچک و گیاهان به‌صورت برجستگی‌ها در آمده‌اند و به‌طور عمده، ریشه‌ی گیاهان دیده می‌شود.
	۱۳ تا ۱۴	گسترش خیلی زیاد سنگ‌ها و گیاهان به‌صورت تحکیم‌یافته، مشاهده می‌گردد.

www.PnuNews.com

ادامه‌ی جدول (۳-۱۵):

شرح	حدود امتیاز	وضعیت ظاهری
شیارهای سطحی (فرسایش شیاری)*	۰ تا ۳	شیارها در سطح زمین بر اثر فرسایش آبی دیده نمی‌شوند.
	۴ تا ۶	شیارهایی در سطح زمین مشهود هستند؛ ولی این شیارها عمقی کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر دارند و فواصل بین آن‌ها بیش از ۳ متر است.
	۷ تا ۹	شیارهایی با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در سطح خاک به فواصل حدود ۳ متر از یکدیگر دیده می‌شوند.
	۱۰ تا ۱۲	شیارهایی با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در سطح خاک دیده می‌شوند که فواصل بین آن‌ها ۱/۵ تا ۳ متر است.
	۱۳ تا ۱۴	شیارهایی با عمق ۷/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر با فاصله‌ی کمتر از ۱/۵ متر در سطح خاک دیده می‌شوند.
شکل آبراهه	۰ تا ۳	کمتر آبراهه‌ای در سطح زمین دیده می‌شود.
	۴ تا ۶	مواد برجای مانده در کف آبراهه تا حدودی مشهود می‌باشند.
	۷ تا ۹	ذرات موجود در کف آبراهه، به ترتیب اندازه ته‌نشین شده‌اند.
	۱۰ تا ۱۲	در کف آبراهه، ذرات سیلت، شن و مواد کوه‌رُفتی دیده می‌شوند.
	۱۳ تا ۱۵	تراکم آبراهه‌ها در سطح زمین زیاد است و اراضی غیر قابل کشت در محل ته‌نشست مواد کوه‌رُفتی به چشم می‌خورند.
توسعه‌ی فرسایش خندقی*	۰ تا ۳	ممکن است که در شرایط پایداری باشند و پوشش گیاهی در کف آبراهه و شیب-های جانبی مستقر باشد.
	۴ تا ۶	تعدادی خندق با فرسایش بستر و شیب کناری کم دیده می‌شوند و مقداری پوشش گیاهی روی شیب‌ها وجود دارد.
	۷ تا ۹	تعدادی از خندق‌ها کاملاً توسعه‌یافته می‌باشند و در کمتر از ۱۰ درصد طول آن‌ها، فرسایش فعال وجود دارد.
	۱۰ تا ۱۲	خندق‌ها به تعداد زیاد مشاهده می‌شوند و در ۱۰ تا ۵۰ درصد طول آن‌ها، فعالیت فرسایشی وجود دارد.
	۱۳ تا ۱۵	خندق‌ها بیشتر مناطق را پوشانده‌اند و در بیش از ۵۰ درصد طول آن‌ها، فرسایش فعال وجود دارد.

* این نمرات برای عامل‌های هشتم و نهم در مدل پسیاک نیز استفاده می‌شوند.

www.PnuNews.com

جدول (۳-۱۶): وضعیت فرسایش بر مبنای جمع نمرات عوامل هفت‌گانه

وضعیت فرسایش	جمع نمرات عوامل هفت‌گانه
خیلی کم	۰ تا ۲۰
کم	۲۱ تا ۴۰
متوسط	۴۱ تا ۶۰
زیاد	۶۱ تا ۸۰
خیلی زیاد	۸۱ تا ۱۰۰

۳-۴-۶) مدل EPM[1]

این روش با استفاده از اطلاعات پلات‌های فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب در طول چهل سال آزمایش در کشور یوگسلاوی به‌دست آمده است و برای اولین‌بار در سال ۱۹۸۸ توسط گاوریلوویچ[2] ارایه شد. با این مدل، ضمن تعیین شدت فرسایش، می‌توان میزان حمل رسوب در رودخانه‌ها را برآورد نمود و در رودخانه‌هایی که فاقد آمار هیدرومتری و رسوب‌سنجی هستند، کاربرد مناسبی دارد.

به‌طور کلی، از روش EPM برای تعیین سه مورد زیر استفاده می‌شود:

۱) تعیین شدت فرسایش و فرسایش ویژه

۲) تعیین ضریب رسوب‌دهی

۳) تعیین دبی رسوب ویژه و دبی رسوب کل

۳-۴-۶-۱) محاسبه‌ی شدت فرسایش

در تعیین شدت فرسایش خاک، چهار عامل ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y)، ضریب کاربری اراضی (X_a)، ضریب فرسایش (Ψ) و شیب متوسط حوزه‌ی آبخیز (I) مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمره‌ی هر یک از این عامل‌ها (به استثنای مقدار I)، به ترتیب از

1- Erosion Potential Method
2- Gavrilovic

www.PnuNews.com

جدول‌های ۳-۱۷ تا ۳-۱۹ به‌دست می‌آید و پس از تعیین چهار عامل مزبور، با استفاده از رابطه‌ی زیر، شدت فرسایش (Z) محاسبه می‌شود:

$$Z = Y.Xa\ (\psi + I^{0/5})$$

توجه داشته باشید که مقدار عامل I را می‌توانید از طریق نقشه‌ی شیب منطقه و یا بازدید صحرایی تعیین نمایید.

جدول (۳-۱۷): مقادیر ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)

ردیف	شرایط سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی	مقادیر میانگین
۱	ماسه، سنگ‌ریزه و شیست	۲/۰
۲	لس، توف، خاک شور و خاک استپی	۱/۶
۳	سنگ آهک هوادیده و مارن	۱/۲
۴	ماسه‌سنگ قرمز، سرپانتین و رسوبات فلیشی	۱/۱
۵	پدزول، پاراپدزول، شیست خردشده، میکاشیست و گنیس	۱/۰
۶	سنگ آهک سخت، لاشبرگ، خاک‌های هوموسی و سیلیکات‌دار	۰/۹
۷	خاک‌های جنگلی قهوه‌ای و خاک‌های کوهستانی	۰/۸
۸	خاک‌های باتلاقی و هیدرومورف سیاه یا خاکستری تیره	۰/۶
۹	چرنوزم و رسوبات آبرفتی با بافت خوب	۰/۵
۱۰	سنگ‌های آذرین سخت	۰/۲۵

www.PnuNews.com

جدول (۳-۱۸): مقادیر ضریب کاربری اراضی (Xa)

ردیف	شرایط استفاده از زمین	مقادیر میانگین
۱	اراضی غیرقابل کشت (هزاردره)[1]	۱
۲	اراضی تپه‌ماهوری شخم‌خورده برای زراعت	۰/۹
۳	باغ‌های میوه، تاکستان‌های بدون پوشش گیاهی مرتعی	۰/۸
۴	کشت‌زارهای شخم‌خورده بر روی خطوط تراز	۰/۷
۵	جنگل‌های مخروبه و فرسایش‌یافته و بوته‌زارهای ایجادشده بر روی خاک‌های فرسوده	۰/۶
۶	مراتع کوهستانی خشک	۰/۵
۷	مزارع دایمی و یونجه‌زارها	۰/۴
۸	مزارع زهکشی‌شده و پوشیده از علف	۰/۳
۹	جنگل‌های خوب بر روی شیب‌های تند	۰/۲
۱۰	جنگل‌های خوب بر روی شیب‌های ملایم	۰/۱

جدول (۳-۱۹): مقادیر ضریب فرسایش منطقه (Ψ)

ردیف	شرایط فرسایش حوزه‌ی آبخیز	مقادیر میانگین
۱	منطقه، دارای خندق‌های زیاد و فرسایش شدید می‌باشد.	۱/۰
۲	در حدود ۸۰ درصد منطقه، دارای فرسایش خندقی و شیاری می‌باشد.	۰/۹
۳	در حدود ۵۰ درصد منطقه، دارای فرسایش خندقی و شیاری می‌باشد.	۰/۸
۴	کل منطقه، دارای فرسایش سطحی، رسوبات و واریزه‌ها است و به مقدار کم، دارای فرسایش کارستی، شیاری و خندقی می‌باشد.	۰/۷
۵	کل منطقه، دارای فرسایش سطحی است؛ ولی بدون آثار فرسایش عمیق (مانند خندق‌ها، شیارها، واریزه‌ها و غیره) می‌باشد.	۰/۶
۶	۵۰ درصد منطقه، دارای فرسایش سطحی و بقیه‌ی آن، بدون فرسایش است.	۰/۵
۷	۲۰ درصد منطقه، دارای فرسایش سطحی و بقیه‌ی آن، بدون فرسایش است.	۰/۴
۸	سطح زمین، فاقد فرسایش قابل مشاهده است؛ ولی در کنار رودخانه‌ها، واریزه و لغزش مشاهده می‌شود.	۰/۳
۹	سطح زمین، فاقد فرسایش قابل مشاهده است؛ ولی دارای پوشش زراعی است.	۰/۲
۱۰	سطح زمین، فاقد فرسایش قابل مشاهده است؛ ولی اغلب، زیر پوشش جنگل و گیاهان دایمی است.	۰/۱

1- Bad land

www.PnuNews.com

پس از محاسبه‌ی Z، با استفاده از جدول ۳-۲۰، طبقه‌بندی کیفی فرسایش انجام می‌شود.

جدول (۳-۲۰): طبقه‌بندی کیفی فرسایش در روش EPM

طبقه‌بندی فرسایش	شدت فرسایش	مقادیر حد Z	مقادیر متوسط Z
I	خیلی شدید	Z > ۱	۱/۲۵
II	شدید	۰/۷۱ < Z < ۱	۰/۸۵
III	متوسط	۰/۴۱ < Z <۰/۷	۰/۵۵
IV	کم	۰/۲ < Z <۰/۴	۰/۳۰
V	خیلی کم	Z <۰/۱۹	۰/۱۰

لازم به ذکر است که برای محاسبه‌ی Z، علاوه‌بر فرمول بالا، نموداری که بر اساس همان فرمول تهیه شده است نیز وجود دارد، لیکن روش فرمول راحت‌تر است.

۳-۴-۶-۲) محاسبه‌ی فرسایش ویژه

فرسایش ویژه یا مقدار فرسایش یک حوزه‌ی آبخیز در واحد سطح در طول یک‌سال، از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$W_{SP} = T.H.\pi.Z^{1/5}$$

که در آن:

W_{SP} = مقدار فرسایش (بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال)

T= ضریب درجه حرارت که از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$T = [(\frac{t}{10}) + 0/1]^{0/5}$$

که در این فرمول، t بیانگر متوسط درجه حرارت سالانه‌ی حوزه (بر حسب درجه‌ی سلسیوس) می‌باشد.

H= متوسط بارندگی سالانه‌ی حوزه (بر حسب میلی‌متر)

π= عدد پی (۳/۱۴۲)

Z= شدت فرسایش

www.PnuNews.com

مثال ۱۴:

مقدار فرسایش برای زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳)، بر اساس روش EPM چقدر است؟

حل:

چون زمین‌شناسی سطحی این زیرحوزه، از نوع کنگلومرا و سنگ آهک می‌باشد؛ مقدار Y، مساوی با ۰/۹ فرض شده است. برای محاسبه‌ی ضریب کاربری اراضی، باید میانگین وزنی گرفت. در نتیجه:

$$Xa = (۰/۵ \times ۰/۴) + (۰/۷ \times ۰/۶) = ۰/۶۲$$

مقدار Ψ را می‌توان ۰/۷ در نظر گرفت. نظر به اینکه شیب این زیرحوزه، برابر ۱۸ درصد (جدول ۳-۳) می‌باشد؛ بنابراین، شدت فرسایش از طریق فرمول زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$Z = ۰/۹ \times ۰/۶۲ \times (۰/۷ + ۰/۱۸^{۰/۵}) = ۰/۶۳$$

با توجه به بارش سالانه‌ی این زیرحوزه (۳۰۱ میلی‌متر) و متوسط دمای سالانه‌ی آن (۱۸ درجه‌ی سلسیوس)، مقدار فرسایش برابر خواهد بود با:

$W_{SP}=(۱/۸+۰/۱)^{۰/۵} \times ۳۰۱ \times ۳/۱۴۲ \times ۰/۶۳^{۱/۵} = ۶۵۲/۶$ (مترمکعب در کیلومترمربع در سال)

با توجه به چگالی ظاهری خاک زیرحوزه‌ی مزبور ($۱/۴\ g\ cm^{-۳}$)، این مقدار، برابر با ۹/۱۴ (تن در هکتار در سال) خواهد بود.

لازم به ذکر است که به‌طور معمول، مدل‌های مختلف، جواب‌های متفاوتی به‌دست می‌دهند. در این مثال، فرسایش محاسبه‌شده، تقریباً با روش جهانی نزدیک است؛ ولی با روش پسیاک تفاوت دارد. بر همین اساس، گفته می‌شود که برای هر منطقه‌ای، باید از مدل خاص همان منطقه استفاده نمود و این‌طور نیست که یک مدل، برای تمامی شرایط پاسخگو باشد.

۳-۴-۶-۳) تعیین ضریب رسوب‌دهی حوزه

با توجه به اینکه در جهان واقعی، مقداری از خاک فرسایش‌یافته، در نقطه‌ی دیگری از حوزه رسوب می‌نماید؛ به‌طور معمول، مقدار رسوبی که در محل خروجی رودخانه اندازه‌گیری می‌شود از خاک فرسایش‌یافته در سطح حوزه‌ی آبخیز کمتر است. به همین دلیل، تعیین ضریب رسوب‌دهی حوزه‌ی آبخیز (RU) ضرورت دارد:

$$RU = \frac{(P.H)^{0/5}}{(L+10}$$

www.PnuNews.com

که در فرمول بالا:

P= محیط حوزه‌ی آبخیز (بر حسب کیلومتر)

L= طول حوزه‌ی آبخیز (بر حسب کیلومتر)

در واقع، منظور از L، بلندترین طول حوزه یا طول آبراهه‌ی اصلی آن می‌باشد.

H= عاملی که از طریق فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$H = Hav - Ho$$

که در این فرمول:

Hav= ارتفاع متوسط حوزه‌ی آبخیز (بر حسب کیلومتر)

Ho= ارتفاع نقطه‌ی خروجی رودخانه‌ی اصلی حوزه (بر حسب کیلومتر)

مثال ۱۵:

اگر ارتفاع متوسط زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳)، برابر با ۲۵۳۶ متر باشد و ارتفاع نقطه‌ی خروجی رودخانه‌ی اصلی این زیرحوزه، ۲۰۰۰ متر باشد؛ مقدار RU را به‌دست آورید.

حل:

با توجه به اطلاعات موجود در جدول ۳-۳، محیط این زیرحوزه، ۱۳/۶ کیلومتر است و طول آبراهه‌ی اصلی آن، ۴۶۱۳ (=۱۸۹۰+۲۷۲۳) متر می‌باشد. در نتیجه:

$$H = ۲/۵۳۶ - ۲ = ۰/۵۳۶$$

$$RU = (۱۳/۶ \times ۰/۵۳۶)^{۰/۵} \div (۴/۶۱۳ + ۱۰) = ۰/۱۸۵$$

۳-۴-۶-۴) محاسبه‌ی دبی رسوب ویژه و دبی رسوب کل

برای محاسبه‌ی دبی رسوب ویژه، باید مقدار فرسایش ویژه را در ضریب رسوب‌دهی ضرب نمود، یعنی:

$$G_{SP} = RU.W_{SP}$$

که در این فرمول:

G_{SP}= دبی رسوب ویژه (بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال)

W_{SP}= مقدار فرسایش ویژه (بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال)

RU= ضریب رسوب‌دهی حوزه‌ی آبخیز (که همان SDR روش پسیاک می‌باشد)

برای محاسبه‌ی دبی رسوب کل، باید دبی رسوب ویژه را در مساحت کل حوزه‌ی آبخیز

www.PnuNews.com

ضرب نمود. به عبارت دیگر:

$$G_S = A.G_{SP}$$

که در آن:

G_S= دبی رسوب کل حوزه (بر حسب مترمکعب در سال)

A= مساحت حوزه‌ی آبخیز (بر حسب کیلومترمربع)

بدیهی است که برای محاسبه‌ی دبی رسوب کل بر حسب تن در سال، می‌بایست G_S را در وزن مخصوص ظاهری خاک حوزه ضرب نمود.

مدل EPM در ایران در حوزه‌های آبخیز الموت، رود قزوین، اوزون دره و چند حوزه‌ی دیگر به‌کار گرفته شده است.

مثال ۱۶:

دبی کل رسوب را برای زیرحوزه‌ی "الف" (شکل ۳-۳)، به‌دست آورید.

حل:

با توجه به اینکه W_{SP} = ۶۵۲/۶ (مثال ۱۴)، RU = ۰/۱۸۵ (مثال ۱۵) و A = ۱۱۱۵ ha می‌باشند؛ بنابراین:

G_{SP} = ۰/۱۸۵ × ۶۵۲/۶ = ۱۲۰/۷ (مترمکعب در کیلومترمربع در سال)

G_S = ۱۱/۱۵ × ۱۲۰/۷ = ۱۳۴۵/۸ (مترمکعب در سال)

۳-۴-۶-۵) محاسن روش EPM

۱) فاکتورهای مورد استفاده در این روش، محدود می‌باشند و به آسانی می‌توان آن‌ها را ارزیابی کرد.

۲) فاکتورهای مورد استفاده در این روش، از عوامل مؤثر بر فرسایش محسوب می‌شوند.

۳) با این روش می‌توان فرسایش را به‌صورت کمّی و کیفی بررسی نمود.

۴) نقشه‌ی فرسایش خاک حوزه‌ی آبخیز را با این روش می‌توان به‌سهولت تهیه نمود.

۵) برآورد اولیه‌ی میزان رسوب‌گذاری در پشت سدهای مخزنی، از طریق این مدل امکان-پذیر است.

۶) با به‌کارگیری این روش، امکان تخمین میزان حمل رسوب در رودخانه‌هایی که فاقد آمار هیدرومتری و رسوب می‌باشند، وجود خواهد داشت.

www.PnuNews.com

۳-۴-۶-۶) معایب روش EPM

۱) در این روش برای محاسبه‌ی فرسایش، چهار عامل دخالت داده شده‌اند؛ بنابراین عوامل دیگری که در فرسایش دخالت دارند، تأثیر داده نشده‌اند.

۲) اعداد داده شده برای Ψ را نمی‌توان به‌طور قطعی در ایران به‌کار برد. بنابراین، بهتر است که بر حسب مناطق اکولوژیک، اعداد قابل قبولی به‌دست آورد.

۳) مقادیر Xa را نیز نمی‌توان به‌طور کامل با شرایط ایران تطبیق داد. بنابراین، لازم است که بر حسب مناطق اکولوژیک و چگونگی بهره‌برداری از زمین، ضرایب جدید تدوین شوند.

۴) مقادیر Y نیز که مهم‌تر از ضرایب دیگر هستند، دارای اشکالات فراوان می‌باشند. به‌عنوان مثال، سنگ‌ریزه و شیست، دارای میانگین عددی ۲ هستند؛ در صورتی که به مارن (که حساسیت بالاتری به فرسایش دارد)، میانگین عددی ۱/۲ اختصاص داده شده است (جدول ۳-۱۷). البته پیشنهاد می‌گردد که مقدار این ضریب برای مارن، همان عدد ۲ در نظر گرفته شود.

۵) در حوزه‌هایی که متوسط درجه‌ی حرارت سالانه‌ی آن‌ها کمتر از منفی یک درجه‌ی سلسیوس ($t < -1^{\circ}C$) باشد؛ مقدار T منفی می‌شود و چون نمی‌توان از عدد منفی جذر گرفت؛ بنابراین برای محاسبه‌ی رسوب، مشکل ایجاد می‌شود.

۶) در بعضی از موارد، ضریب رسوب‌دهی، بیشتر از واحد می‌شود؛ در صورتی که چنین چیزی در عمل، امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۳-۴-۷) مدل WEPP

مدل WEPP که در سال ۱۹۸۵ ارایه شد، یک مدل پخشی است؛ بدین معنا که پارامترهای آن با زمان و مکان تغییر می‌کنند. این پارامترها شامل مقدار و شدت بارندگی، بافت خاک، رشد گیاه، اثرات خاک‌ورزی بر خصوصیات خاک، مقدار بقایای گیاهی، شکل شیب، جهت‌یابی و فرسایش‌پذیری خاک می‌باشند.

ورودی‌های مدل WEPP شامل اطلاعات مربوط به آب و هوا، یخ زدن خاک، تجمع برف و ذوب شدن آن، آبیاری، نفوذ، هیدرولیک جریان سطحی، تراز آبی، رشد گیاه، تجزیه‌ی بقایای گیاهی، عملیات کشت‌وکار، استحکام، فرسایش و رسوب می‌باشند. خروجی‌های این مدل، شامل برآورد میزان فرسایش یا رسوب خالص، فرسایش یا رسوب در شیارها، فرسایش یا رسوب بین

www.PnuNews.com

شیارها و تعیین بار رسوب هستند.

به‌طور کلی، قابلیت‌های مدل WEPP را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱) این مدل تمام سطح حوزه را به شیار و بین شیار تقسیم می‌کند.

۲) مدل مزبور، توجه بیشتری به باران دارد؛ در صورتی که نقش روان‌آب در فرسایش خاک، بسیار مهم است.

۳) این مدل را می‌توان در حوزه‌های کشاورزی ۱ تا ۲۰۰۰ ایکری به‌کار گرفت.

۴) مدل WEPP را نباید برای نواحی دارای کانال و رودخانه مورد استفاده قرار داد؛ زیرا فرآیندهایی که در اینگونه کانال‌ها رخ می‌دهند، توسط این مدل قابل شبیه‌سازی نمی‌باشند.

به هر حال، در این مدل نیز همانند دیگر مدل‌ها، بازنگری‌هایی صورت گرفته است؛ به‌گونه‌ای که هم برخی از فرمول‌های آن بهبود یافته‌اند و هم به‌صورت رایانه‌ای عرضه شده‌اند (مانند بسته‌ی نرم‌افزاری WEPPwin09 که از اینترنت، قابل دریافت است).

بایستی اظهار داشت که مدل‌های فرسایش و رسوب دیگری (مانند مدل SLEMSA[1]، مدل GUEST[2]، روش فائو[3]، روش استلیک[4]، مدل هیدروفیزیکی، روش مورگان- مورگان- فینی[5]، روش فورنیه[6] و مدل KINEROS[7]) نیز وجود دارند که شرح آن‌ها در کتاب‌های فرسایش خاک آمده است؛ لیکن چون در ایران کمتر به‌کار رفته‌اند، در این کتاب به آن‌ها پرداخته نشده است. با این وجود، در ادامه‌ی مطالب، به چند مدل رایانه‌ای که در ایران کاربرد بیشتری دارند اشاره خواهد شد.

۳-۴-۸) مدل ANSWERS

این مدل در سطح یک حوزه‌ی آبخیز با استفاده از داده‌های تک‌رخدادی و برخی ویژگی‌های سرزمین، به شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک می‌پردازد. مدل مزبور، برای حوزه‌های کوچک، به‌راحتی قابل استفاده می‌باشد. این مدل، برای زیرحوزه‌هایی در خلیج سیاه،

1- Soil Loss Estimation Model for Southern Africa; SLEMSA
2- Griffith University Erosion System Template; GUEST
3- Food and Agriculture Organization; FAO
4- Stehlik
5- Morgan - Morgan - Finney; MMF
6- Fournier
7- KINematit runoff and EROSion model; KINEROS

www.PnuNews.com

اکلاهاما، اوهایو، شمال کارولینا، تگزاس و همین‌طور ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج قابل قبولی را در برداشته است.

مدل ANSWERS قادر است که حداکثر سیل، کل حجم روان‌آب سطحی و فرسایش حاصل از بارندگی‌ها را در حوزه‌های آبخیز کشاورزی پیش‌بینی کند. این مدل، در قالب دو پدیده‌ی مختلف، مطرح شده است:

الف) پدیده‌ی هیدرولوژیکی

ب) پدیده‌ی فرسایشی

به‌طور کلی، مدل ANSWERS بر اساس فرضیه‌های زیر استوار می‌باشد:

۱) آب زهکشی، رسوبی را در بر ندارد.

۲) رسوباتی که از یک نقطه جدا می‌شوند، دوباره در نقطه‌ای دیگر در همان اطراف، به خاک سطحی برمی‌گردند.

۳) میزان انرژی لازم برای جداسازی ذراتی که رسوب یافته‌اند، برابر با مقدار انرژی است که برای جداسازی اولیه‌ی آن‌ها مصرف شده است.

۳-۴-۹) مدل EUROSEM[1]

مدل اروپایی محاسبه‌ی فرسایش خاک، یک مدل تک‌رخداد فراگیر است که برای پیش‌بینی روان‌آب و فرسایش آبی خاک از مزارع یا حوزه‌های هیدرولوژیکی کوچک ساخته شده است. این مدل که حاصل تلاش ۲۵ دانشمند از ۱۰ کشور اروپایی است می‌تواند برای سنجش خطر فرسایش و ارزیابی روش‌های حفاظت خاک و آب به‌کار رود.

مدل EUROSEM، یک مدل ریاضی- فیزیکی است که بر اساس فرآیند فرسایش بنا شده است. فرآیند فرسایش در ایجاد این مدل، به این‌صورت است که ریزش قطره‌های باران توسط پوشش گیاهی به دو بخش تقسیم می‌شود. بخشی از آن، از چتر گیاه عبور می‌کند و به زمین لخت می‌رسد که "ریزش مستقیم"[2] نامیده می‌شود. بخش دوم، به چتر گیاه برخورد

1- EUROpean Soil Erosion Model; EUROSEM

2- Throughfall

www.PnuNews.com

می‌کند و "ذخیره‌ی برگابی"[1] را تشکیل می‌دهد که به دو صورت "زهکشی برگ"[2] و "جریان ساقه‌ای (ساقاب)"[3] به سطح زمین می‌رسد. انرژی جنبشی قطره‌های زهکشی برگ و ریزش مستقیم، باعث جداسازی ذرات خاک می‌شود. بخشی از باران رسیده به زمین، در خاک نفوذ می‌کند و مابقی، صرف پُر شدن گودال‌های سطحی می‌شود. پس از پُر شدن گودال‌های سطحی، روان‌آب بر روی سطح خاک جاری می‌گردد که فرسایش خاک را به دنبال دارد. ذرات خاک، در هر زمانی می‌توانند رسوب یا فرسایش یابند که تعادل بین این دو فرآیند متضاد، مقدار فرسایش را تعیین می‌کند.

۳-۴-۱۰) مدل SWAT[4]

مدلSWAT، یک مدل جامع و کامل برای ارزیابی دبی جریان، میزان رسوب، عناصر غذایی و روش‌های مدیریتی است که به‌صورت گسترده در بسیاری از کشورهای جهان (مانند ایالات متحده‌ی آمریکا، کانادا، ایتالیا و سوئیس) به‌کار گرفته شده است . این مدل در ایران نیز نتایج قابل قبولی به‌دست داده است.

مدل SWAT، یک مدل در مقیاس حوزه‌های آبخیز است و دارای بازده محاسباتی بالا می‌باشد. این مدل، شامل مجموعه‌ای از معادله‌های ریاضی و فرمول‌های تجربی متعدد است و به‌صورت یک مدل پیوسته می‌تواند در گام‌های زمانی مختلف (مانند ساعت، روز و یا دوره‌های طولانی‌تر) اجرا شود و ویژگی‌های مورد نظر را شبیه‌سازی کند. مدل مزبور، با تفکیک یک حوزه به تعداد زیادی زیرحوزه، شبیه‌سازیِ جزئیات مکانی را انجام می‌دهد . فرآیندها یا بخش‌های اصلی مدل SWAT شامل هیدرولوژی، اقلیم، فرسایش، رشد گیاهان، عناصر غذایی، آفت‌کش‌ها، مدیریت اراضی و روندیابی جریان می‌باشند .

1- Interception storage
2- Leaf drainage
3- Stem flow
4- Soil and Water Assessment Tool; SWAT

www.PnuNews.com

۳-۴-۱۱) ارزیابی مدل‌های فرسایش

برای ارزیابی مدل‌های فرسایش و رسوب و تعیین درجه‌ی اعتبار هر مدل برای یک منطقه-ی خاص، لازم است که بر روی داده‌های ورودی آن مدل، سه عملیات زیر انجام شوند:

الف) پارامترسنجی[1]

ب) واسنجی[2]

پ) اعتبارسنجی[3]

پارامترسنجی بیانگر جمع‌آوری، اندازه‌گیری، محاسبه و اصلاح داده‌های ورودی مدل است.

واسنجی، تعدیل اصولی پارامترهای ورودی مدل می‌باشد. این‌کار، به‌منظور ایجاد بهترین برازش بین خروجی مدل و مقادیر مشاهداتی انجام می‌پذیرد. نظر به اینکه خاک، محیطی پویا و دینامیک می‌باشد و خصوصیات آن با زمان و مکان تغییر می‌کنند؛ بنابراین، همواره نیاز به واسنجی احساس می‌گردد.

ارزیابی مدل با عواملی که از طریق واسنجی اصلاح شده‌اند، اعتبارسنجی نامیده می‌شود. به عبارت دیگر، اعتبارسنجی، نقطه‌ی پایانی ارزیابی مدل است. در طی انجام این عملیات، نحوه‌ی شبیه‌سازی رخدادهای آینده، توسط مدل تعیین می‌گردد. به عبارت دیگر، چنانچه در مرحله‌ی اعتبارسنجی، شبیه‌سازیِ انجام‌شده توسط مدل، به خوبی صورت گرفته باشد؛ می‌توان از آن برای رخدادهای آینده استفاده نمود.

به‌طور کلی، در مورد استفاده از مدل‌ها بایستی دقت داشت که قبل از به‌کارگیری مدل‌های ساخته‌شده در کشورهای دیگر، این مدل‌ها در مناطق مختلف ایران و با شرایط مشخص، آزمون آماری گردند و پس از انجام عملیات گفته‌شده در بالا و در صورت مثبت بودن نتایج، مدل‌های مزبور برای همان منطقه یا مناطق مشابه استفاده شوند. از طرفی، استفاده از مدل‌ها، بیشتر با اهداف مدیریتی همراه است؛ بدین معنا که وقتی یک مدل برای منطقه‌ای، واسنجی و اعتبارسنجی شد و نتایج آن مثبت بود، حال اگر در آینده قرار باشد که تغییراتی در منطقه اعمال شود (برای نمونه، زمین‌های مرتعی به دیم‌زار تبدیل شوند)، با استفاده از آن مدل می‌توان پیامدهای این تغییرات را شبیه‌سازی نمود و نتایج را در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان

1- Parametrization
2- Calibration
3- Validation

www.PnuNews.com

قرار داد. لیکن، متأسفانه در ایران، مدل‌ها فقط برای برآورد فرسایش در حال حاضر و مسایل مربوط به آن، مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل، این احتمال وجود دارد که در بسیاری از موارد، پرسش زیر در ذهن افراد مختلف تداعی شود:

اینکه فلان مدل برای منطقه‌ای واسنجی گردید و مناسب تشخیص داده شد،

چه اهمیتی دارد و چه استفاده‌ای از آن می‌توان انتظار داشت؟

۳-۵) پرسش

۱- دبی خروجی یک حوزه‌ی آبخیز، پنج مترمکعب در ثانیه و گِل‌آلودگی آب خروجی، ۲۵ گرم در لیتر است. در صورتی که مساحت این حوزه، ۲۰۰۰۰ هکتار باشد؛ تخریب مخصوص سالیانه‌ی حوزه‌ی مزبور، چند تن در هکتار است؟

۲- در حوزه‌ی آبخیزی به وسعت ۱۱۱۵ هکتار، اگر رسوب ویژه، ۲۴ تن در هکتار در سال و نسبت تحویل رسوب (SDR)، برابر با ۸۰ درصد باشد؛ مقدار مواد فرسایش‌یافته در سال، چند تن در هکتار است؟

۳- اگر متوسط سالانه‌ی گِل‌آلودگی رودخانه‌ای در نقطه‌ی خروجی یک حوزه‌ی آبخیز، ۱۰۰ گرم بر مترمکعب و دبی متوسط سالانه‌ی آن، دو مترمکعب در ثانیه باشد؛ تخریب مخصوص این حوزه‌ی آبخیز ۲۵۰۰ هکتاری، چند تن در هکتار در سال است؟

۴- اگر مقدار خاک‌سازی یک دشت، سه سانتی‌متر در هر ۱۰۰ سال باشد؛ حد مجاز فرسایش این دشت، چند تن بر هکتار در سال است؟ (وزن مخصوص ظاهری خاک را ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب فرض نمایید.)

۵- اگر میزان فرسایش حوزه‌ی آبخیزی، ۴۰ تن در هکتار در سال باشد و رسوب‌زایی آن، برابر با ۲۲ تن در هکتار در سال باشد؛ SDR این حوزه چقدر است؟

۶- اگر متوسط تخریب ویژه در یک حوزه‌ی آبخیز، هشت تن در هکتار در سال باشد؛ طی ۱۰۰ سال، به‌طور متوسط، عمق خاک از دست رفته‌ی این حوزه (بر حسب سانتی‌متر) چقدر خواهد بود؟ (چگالی ظاهری خاک را ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب فرض کنید.)

۷- اگر قدرت فرسایندگی باران، برابر با ۵۰۰؛ ضریب فرسایش‌پذیری خاک، مساوی با ۰/۵۰؛ عامل ناهمواری (LS)، برابر با ۱/۶؛ عامل مدیریت زراعی، برابر با ۰/۲ و حد مجاز فرسایش خاک، مساوی با هشت تن در هکتار در سال باشند؛ ضریب اقدامات حفاظتی برای جلوگیری از فرسایش خاک چقدر خواهد بود؟

www.PnuNews.com

فصل چهارم

حفاظت خاک

اهداف

در پایان فصل، دانشجو با مفاهیم زیر آشنا می‌شود:

۱. مقدمه‌ای بر حفاظت خاک

۲. حفاظت غیرمکانیکی خاک

۳. نحوه‌ی استفاده‌ی صحیح از زمین

۴. حفاظت مکانیکی خاک (تراس و بانکت)

۵. چگونگی کنترل انواع فرسایش خاک

۴-۱) حفاظت خاک[1]

پس از شناخت انواع فرسایش و عوامل مؤثر بر آن، نکته‌ی حایز اهمیت، چگونگی مقابله با فرسایش خاک و یا کنترل آن می‌باشد. این موضوع با عناوین گوناگونی همچون مبارزه با فرسایش خاک، کنترل فرسایش خاک، حفاظت خاک و یا حفاظت و نگهداری خاک، مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور کلی، فرسایش خاک، تابعی از فرسایندگی[2] و فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد.

فرسایندگی خاک، به عوامل مختلف طبیعی، چون باران (در فرسایش آبی) و باد (در فرسایش بادی)، بستگی دارد که این عوامل، به شرایط اقلیمی هر منطقه مربوط می‌شوند و

1- Soil conservation

2- Erosivity

www.PnuNews.com

کیفیت و کمیت آن‌ها خارج از اختیار بشر می‌باشد.

فرسایش‌پذیری خاک نیز تحت تأثیر دو عامل اصلی زیر می‌باشد:

۱) ویژگی‌های ذاتی خاک و اراضی:

از جمله‌ی این ویژگی‌ها می‌توان درصد اجزای بافتی خاک (شن، سیلت و رس)، درصد ذرات درشت، شیب اراضی و کانی‌های سازنده‌ی خاک را نام برد. هرچند امکان تغییر این عوامل، تا حدی وجود دارد (برای مثال می‌توان به ایجاد تراس در رابطه با کاهش طول و تندی شیب اشاره نمود)؛ لیکن به‌طور معمول، انجام این‌کار در سطوح وسیع، مقرون به صرفه نمی-باشد.

۲) عوامل مدیریتی:

این عوامل که خود تحت تأثیر مدیریت زراعی و مدیریت اراضی هستند، به‌طور کامل در اختیار بشر می‌باشند. بنابراین، برای حفاظت خاک یا کنترل فرسایش، توجه به این عوامل، بهترین و مؤثرترین راهکار خواهد بود.

به‌طور کلی، عملیات حفاظت خاک به دو روش غیرمکانیکی (غیرمستقیم و یا بیولوژیک) و مکانیکی (مستقیم) قابل انجام است که به‌ترتیب، هماهنگ با مدیریت زراعی و مدیریت اراضی می‌باشند. این روش‌ها بسیار متنوع هستند و انتخاب آن‌ها به هدف مورد نظر (مانند افزایش ذخیره‌ی آب در سطح زمین و یا کاهش سرعت روان‌آب) بستگی دارد. توجه داشته باشید که هیچ‌یک از دو شیوه‌ی حفاظت غیرمکانیکی و مکانیکی خاک نمی‌توانند جایگزین یکدیگر گردند؛ بلکه مکمل همدیگر می‌باشند. در بسیاری از موارد، به‌کارگیری هر دو روش برای کنترل فرسایش ضروری است. در چنین مواردی، عملیات مکانیکی باید قبل از عملیات غیرمکانیکی انجام گیرد.

آنچه که در این فصل، مورد بررسی قرار خواهد گرفت؛ شرح شیوه‌های غیرمکانیکی و مکانیکی حفاظت خاک در زمینه‌ی فرسایش آبی می‌باشد.

۴-۱-۱) حفاظت غیرمکانیکی

حفاظت غیرمکانیکی، نوعی مبارزه‌ی غیرمستقیم با فرسایش است و بیانگر فرایند پیشگیری از فرسایش خاک، به‌واسطه‌ی انجام یک‌سری عملیات صحیح مدیریتی می‌باشد. به عبارت دیگر، در این روش، عملیات مکانیکی خاصی بر روی خاک انجام نمی‌گیرد و بیشتر با ایجاد یک

www.PnuNews.com

پوشش گیاهی مناسب، فرسایش خاک کنترل می‌گردد.

از جمله‌ی روش‌های غیرمکانیکی می‌توان به عملیات استفاده‌ی صحیح از زمین، احیای جنگل‌ها، قُرُق، کوددهی مناسب، شخم بهینه، تناوب زارعی و غیره اشاره نمود.

۴-۱-۱-۱) استفاده‌ی صحیح از زمین

همانگونه که پیش از این نیز اشاره شد؛ هدف اصلی در مبارزه‌ی غیرمستقیم با فرسایش، ایجاد پوشش گیاهی یا بیشتر کردن آن است. بدین‌منظور، بایستی روش بهره‌برداری از زمین با شیوه‌ی حفاظت خاک متناسب باشد. در این راستا، ایجاد تعادل بین خاک، گیاه، مرتع، جنگل و زمین زراعی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. برای مثال، نقاطی که استعداد جنگل دارند، باید جنگل‌کاری شوند و قسمت‌هایی که برای مرتع مناسب هستند، باید در آن‌ها پوشش مرتعی ایجاد نمود. بدیهی است مناطقی که برای کشاورزی مستعد می‌باشند، باید گیاهان زراعی مناسب با آن محل‌ها را کشت کرد. هرچند گیاهان زراعی، خاک را به خوبیِ مرتع و جنگل، در برابر عوامل فرسایش حفظ نمی‌کنند؛ اما چون خاک مزبور استعداد کشاورزی دارد، چنانچه از روی اصول صحیح مدیریتی، عملیات کشت‌وکار انجام گیرد، هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود و هم خاک، مورد حفاظت قرار خواهد گرفت.

به‌طور کلی، بین نوع بهره‌برداری از زمین و فرسایش آن، رابطه‌ی نزدیکی وجود دارد. در صورتی که از زمین، استفاده‌ی نامعقول به‌عمل آید؛ میزان فرسایش، به‌شدت افزایش می‌یابد. برنامه‌ریزی برای استفاده‌ی صحیح از زمین، علاوه بر استعداد زمین، به عوامل اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، میزان سرمایه‌گذاری، وسایل و امکانات موجود، وجود کارگر و حتی تمایل کشاورزان بستگی دارد که تمامی این موارد، باید مورد مطالعه قرار گیرند.

۴-۱-۱-۲) احیای جنگل‌ها و جلوگیری از قطع بی‌رویه‌ی درختان

مطالعات انجام‌گرفته در ایران، در رابطه با اثرات تغییر کاربری اراضی بر خصوصیت‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نشان می‌دهند که تبدیل اراضی جنگلی به زمین‌های کشاورزی، باعث افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و شاخص پلاستیسیته‌ی[1] آن شده است. از دیگر پیامدهای ناگوار این تغییر کاربری، می‌توان به متراکم شدن ساختمان لایه‌ی سطحی خاک و

1- Plasticity index

www.PnuNews.com

افزایش میزان روان‌آب و فرسایش اشاره نمود. در نتیجه، احیای جنگل‌های طبیعی کشور، بیش از پیش ضروری می‌نماید. البته باید توجه داشت که اگر جنگل‌های بلوط غرب کشور (که به‌شدت نیاز به احیا دارند) را تخریب نکنند، خودِ بذر بلوط می‌تواند موجب تجدید حیات درخت آن شود. از طرفی، ایجاد جنگل‌های مصنوعی در این ارتباط، باید توجیه اقتصادی داشته باشد. بنابراین، توصیه می‌شود که از پتانسیل‌های موجود در هر حوزه‌ی آبخیز برای احیای جنگل‌های همان حوزه استفاده شود.

۴-۱-۱-۳) قرق و جلوگیری از ورود بیش از حد دام به مراتع

افزایش جمعیت دام در اکوسیستم‌های مرتعی، تحت تأثیر افزایش جمعیت در محیط‌های انسانی و به دنبال آن، نیاز روز افزون محیط‌های مزبور به محصولات و فرآورده‌های پروتئینی است. از آنجا که مراتع، سهم مهمی در تأمین خوراک دام دارند؛ بیش از پیش، مورد چرای مفرط قرار گرفته‌اند و موجبات تخریب آن‌ها فراهم گردیده است.

چرای دام، عامل اصلی تخریب شرایط فیزیکی مطلوب خاک سطحی است. این عامل، نه تنها دارای اثرات مستقیم بر سطح خاک (از قبیل متراکم شدن خاک، گسیختن خاکدانه‌ها و کاهش پایداری آن‌ها) می‌باشد؛ بلکه اثرات غیرمستقیمی نیز روی تخریب پوشش گیاهی دارد.

چرای بلندمدت، باعث کاهش پوشش گیاهی محافظ خاک و افزایش تأثیر ضربه‌ی قطره‌های باران بر سطح خاک، کاهش مواد آلی و خاکدانه‌سازی، کاهش سرعت نفوذ، افزایش سله[1] در سطح خاک، افزایش فرسایش و در نهایت، کاهش پتانسیل تولید اراضی می‌گردد. البته چرای کوتاه‌مدت نیز می‌تواند سبب کاهش پوشش محافظ خاک و افزایش جریان آب در بالادست حوزه‌ی آبخیز، خرد شدن خاکدانه‌ها، کاهش سرعت نفوذ و افزایش فرسایش شود.

یکی از راهکارهای مدیریتی موجود در این ارتباط، انجام عملیات قرق می‌باشد. منظور از قرق، این است که برای چند سال (به‌طور عمده، دو یا سه سال) اجازه‌ی ورود دام به یک مرتع داده نشود تا به گونه‌های گیاهی فرصت رشد داده شود و پس از آن، می‌توان اجازه‌ی ورود دام به مرتع مزبور را به‌صورت کنترل‌شده صادر نمود.

نتایج پژوهش انجام‌گرفته نشان می‌دهند که با افزایش درصد پوشش گیاهی از ۱۰ به ۶۰ درصد، عامل پوشش گیاهی (عامل C) موجود در معادله‌ی جهانی فرسایش خاک (USLE) از

1- Surface crust

www.PnuNews.com

۰/۴۵ به ۰/۰۱۳ کاهش یافته است. بنابراین، در صورتی که سایر عوامل، ثابت فرض شوند؛ میزان فرسایش از ۱۵ تُن در هکتار در سال، به یک تُن در هکتار در سال کاهش می‌یابد و فرسایش کیفی در چنین مراتع قرق‌شده‌ای، از درجه‌ی متوسط و زیاد به فرسایش خیلی‌کم کاهش خواهد یافت.

در هر حال، باید توجه داشت که اجرای قرق، بدون در نظر گرفتن مردم، به‌عنوان جزئی از اکوسیستم حوزه‌ی آبخیز، هرگز موفق نخواهد بود.

۴-۱-۱-۴) حفاظت خاک در زمین‌های زراعی

از زمانی که بوته‌ها و درخت‌ها قطع می‌گردند و زمین‌های مرتعی یا جنگل‌ها به زمین‌های زراعی تبدیل می‌شوند، خطر فرسایش خاک نیز آغاز می‌گردد. در زمین‌های زراعی، چند عامل باعث تشدید فرسایش می‌شوند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱) کشت متوالی یک محصول، بدون رعایت تناوب یا آیش

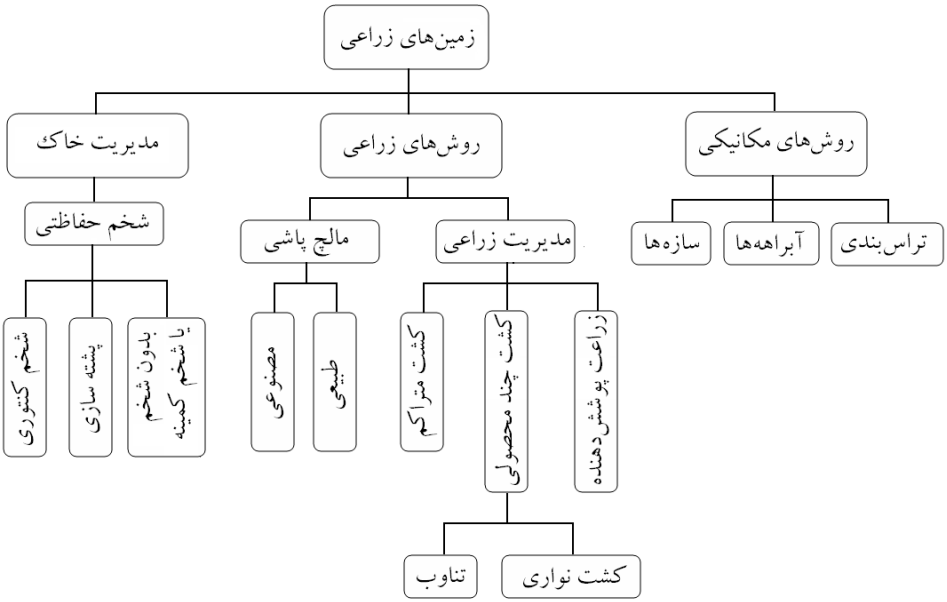
۲) عدم استفاده از کودهای حیوانی و کود سبز

۳) متراکم شدن زمین در اثر حرکت ماشین‌آلات سنگین

۴) پودری شدن خاک در هنگام تهیه‌ی بستر برای بذرکاری

کنترل فرسایش در زمین‌های زراعی، بستگی به مدیریت زراعی (کشت‌وکار) دارد؛ بدین‌ترتیب که برای حفظ خاک باید تا حد زیادی، متکی به روش‌های زراعی بود و همراه با آن‌ها، عملیات مدیریت زمین را انجام داد. به‌طور کلی، مدیریت زراعی، به مراتب بیشتر از مدیریت زمین، فرسایش را کنترل می‌کند. البته می‌توان از روش‌های مکانیکی نیز به‌عنوان پشتوانه‌ی این‌کار استفاده نمود. شکل ۴-۱، راهکارهای مختلف حفاظت خاک در زمین‌های زراعی را نشان می‌دهد که در ادامه‌ی مطالب کتاب، به توضیح برخی از مهم‌ترین این راهکارها پرداخته می‌شود.

www.PnuNews.com



شکل (۴-۱): راهکارهای مختلف حفاظت خاک در زمین‌های زراعی

۴-۱-۱-۴-۱) شخم مناسب

شخم بهینه، بستر مناسبی برای جوانه‌زدن بذر فراهم می‌کند، مقاومت خاک را در مقابل نفوذ ریشه‌ها کاهش می‌دهد و در نتیجه می‌تواند پوشش گیاهی متراکمی برای خاک به‌وجود آورد که این موضوع، منجر به کاهش فرسایش خاک می‌گردد. همچنین، عملیات شخم، نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد و در نتیجه، از میزان روان‌آب کاسته می‌شود. به‌طور معمول، تأثیر شخم در افزایش نفوذپذیری، تنها در دقایق اولیه‌ی نفوذ آب به خاک، قابل ملاحظه است و پس از آن، تقریباً همانند زمین‌های شخم‌نخورده خواهد بود. علاوه بر این، انجام شخم، باعث افزایش زبری سطح زمین می‌شود؛ چراکه پستی و بلندی‌هایی به ارتفاع ۱۲۰ تا ۱۴۰ میلی‌متر در سطح خاک ایجاد می‌کند و از فرسایش خاک می‌کاهد. به‌طور کلی، بین میزان زبری سطح زمین (R) و تلفات خاک (SL)، تناسب وجود دارد که این تناسب را می‌توان به‌صورت رابطه‌ی نمایی زیر بیان نمود:

$$SL \propto \mathbf{exp}^{(-۰/۵R)}$$

هرچند که انجام عملیات شخم در خاک‌های سنگین، موجب بهبود ساختمان و دیگر

www.PnuNews.com

خصوصیت‌های فیزیکی آن‌ها می‌شود؛ لیکن در خاک‌های سبک، در هم ریختگی ساختمان آن-ها را به‌همراه دارد. از دیگر اثرات منفی شخم می‌توان به انجام آن در جهت شیب اشاره نمود که با انجام این‌کار، روان‌آب از فرصت کافی برای نفوذ به خاک برخوردار نخواهد بود و در نتیجه، هدررفت خاک افزایش می‌یابد. همچنین، شخم در رطوبت نامناسب، موجب گِلخرابی خاک می-گردد. بعلاوه، اجرای شخم در یک عمق ثابت برای سالیان متوالی، منجر به ایجاد سخت‌کفه‌ی شخم[1] می‌شود و نفوذ ریشه‌ی گیاه را با مشکل مواجه می‌کند.

در هر حال، با توجه به اهمیت شخم در فرسایش خاک، روش‌های مناسب شخم برای کاهش فرسایش در اراضی حساس ارایه شده‌اند. یکی از این روش‌ها، استفاده از روش "شخم حداقل (کمینه)"[2] می‌باشد. در این شیوه، تا آنجا که امکان دارد از شخم‌های غیرضروری اجتناب می‌شود و تنها قسمتی از زمین که مورد کشت قرار می‌گیرد و بذرکاری می‌گردد، شخم زده می‌شود که البته این‌کار نیز بر روی بقایای گیاهی باقی‌مانده از سال قبل انجام می‌گیرد. یکی دیگر از راهکارهای مورد استفاده در روش شخم کمینه، این است که تمام عملیات شخم، دیسک و بذرکاری، تنها با یک‌بار حرکت تراکتور بر روی زمین انجام شود تا از فشرده شدن خاک در اثر تکرار حرکت ماشین‌آلات جلوگیری گردد.

یکی دیگر از روش‌های مناسب شخم که امروزه مطالعات زیادی در مورد آن در حال انجام است، روش "بدون شخم"[3] می‌باشد. در این شیوه، تنها خاک محل کاشت بذر در هنگام بذرکاری جابجا می‌گردد. اگرچه ممکن است که در برخی شرایط، مقدار محصول تولیدشده از این روش کاهش یابد؛ اما ارزش آثار حفاظتی آن می‌تواند کاهش تولید را جبران کند.

عملیات شخم ذخیره‌ای[4]، روش دیگری است که در سال‌های اخیر ابداع شده است. در این عملیات، شخم‌هایی به عمق ۳۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی ۷۰ سانتی‌متر در سطح زمین ایجاد می‌شوند که ضمن افزایش سرعت نفوذ آب به داخل خاک، ذخایر سطحی را نیز افزایش می‌دهند.

انواع دیگری از شیوه‌های انجام عملیات شخم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند که جدول ۴-۱، شرح انواع شخم‌ها را در رابطه با حفاظت خاک نشان می‌دهد.

1- Clay pan
2- Minimum tillage
3- No tillage
4- Reservoir tillage

www.PnuNews.com

جدول (۴-۱): انواعی از عملیات شخم به‌منظور استفاده در حفاظت خاک

نوع شخم	شرح
معمولی	ابتدا از گاوآهن، دیسک و کولتیواتور استفاده می‌شود و سپس، عملیات کاشت و ماله‌زدن انجام می‌گیرد.
نواری	تنها، قسمتی از زمین که قرار است بذرکاری شود، شخم زده می‌شود. بقیه‌ی قسمت‌های زمین، بدون شخم باقی گذاشته می‌شوند.
مالچی	قسمت زیادی از بقایای کاه وکلش گیاه در سطح زمین باقی گذاشته می‌شود تا منجر به ایجاد یک لایه‌ی مالچی محافظ گردد.
کمینه	تمامی عملیات شخم، بذرکاری و تهیه‌ی زمین با حداقل عبور تراکتور در زمین صورت می‌گیرد.

۴-۱-۱-۴-۲) خاک‌ورزی حفاظتی

خاک‌ورزی حفاظتی، شامل عملیات زراعی است که تولید بالای محصول و سوددهی کافی را تضمین می‌کند و در عین حال، کمترین فرسایش آبی و بادی را به‌همراه دارد. اگرچه تأکید آن بر روی حفاظت خاک می‌باشد؛ ولی حفظ رطوبت خاک، کاهش انرژی مصرفی، کاهش نیروی کار و هزینه و حتی کاهش مصرف ادوات کشاورزی نیز در خاک‌ورزی حفاظتی، مد نظر قرار می‌گیرند. بنابراین، برای اینکه یک سامانه، خاک‌ورزی حفاظتی محسوب شود؛ باید شرایطی را روی خاک یا درون آن به‌وجود آورد که بتواند در مقابل اثرات فرسایشی باد و آب ایستادگی کند. دست‌یابی به یک‌چنین پایداری، با یکی از دو حالت "حفاظت سطح خاک به‌وسیله‌ی بقایای محصولات و گیاهان در حال رشد" و یا "افزایش ناهمواری و نفوذپذیری سطح خاک" امکان‌پذیر می‌باشد. در هر حال، هر سامانه‌ی کشاورزی که یکی از موارد زیر را تأمین کند، خاک‌ورزی حفاظتی نامیده می‌شود:

۱) پوشش حداقل ۳۰ درصدی بقایای گیاهی بعد از عملیات کاشت، به‌منظور کاهش فرسایش آبی

۲) قرار دادن حداقل ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از بقایای گیاهی دانه‌ریز یا معادل آن در سطح خاک در دوره‌ی بحرانی فرسایش، به‌منظور کاهش فرسایش بادی

مزیت اصلی خاک‌ورزی حفاظتی، حفاظت خاک با استفاده از بقایای کشت است که موجب کاهش تبخیر و هدر رفتن آب سطحی می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که با ۹ تا ۱۶ درصد افزایش در پوشش بقایای گیاهی، فرسایش به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین،

www.PnuNews.com

خاک‌های مستعد فرسایش، در اولویت اول برای استفاده از سامانه‌ی خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشند. از مزایای دیگر خاک‌ورزی حفاظتی می‌توان به افزایش نفوذپذیری و مواد آلی خاک، کاهش تبخیر، کاهش هزینه و زمان، حفاظت از فرسایش بادی و غیره اشاره نمود.

با این وجود، خاک‌ورزی حفاظتی نیاز به مدیریت بیشتر در حاصلخیزی خاک و کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها دارد. برای مثال، آهک، فسفر و پتاسیم در خاک تحرک چندانی ندارند. بنابراین، اگر این مواد به‌وسیله‌ی شخم مخلوط نگردند یا به زیر خاک فرستاده نشوند، ممکن است که میزان مصرف کود افزایش یابد. از طرفی، عدم انجام شخم، ممکن است که گسترش علف‌های هرز را کنترل نماید. در نتیجه، با به‌کارگیری یک شیوه‌ی مدیریتی بهینه، باید سامانه‌ی خاک‌ورزی حفاظتی مورد نظر را طراحی نمود.

۴-۱-۱-۴-۳) استقرار پوشش گیاهی مناسب

پوشش گیاهی سطحی خاک، نقش مؤثری در کنترل فرسایش دارد. به‌دلیل تفاوت پوشش-های گیاهی مختلف از نظر تراکم و شکل ظاهری، درجه‌ی تأثیر آن‌ها در کاهش فرسایش نیز متفاوت می‌باشد. در یک مدیریت زراعی خوب با ایجاد پوشش کافی برای زمین می‌توان فرسایش را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. پوشش گیاهی، قسمتی از باران را دریافت می‌کند و در خود نگه می‌دارد. بنابراین، ضمن جلوگیری از برخورد مستقیم قطره‌های باران به سطح خاک، از حجم آبدوی و فرسایش خاک می‌کاهد. ریشه‌ی گیاهان، باعث تثبیت اسکلت خاک می‌شود و از فرسایش توده‌ای جلوگیری می‌کند. پوشش گیاهی، خاک را از اثر مستقیم اشعه‌ی خورشید محفوظ نگه می‌دارد و به این ترتیب، تغییرات شدید درجه‌ی حرارت و در نتیجه، تخریب ساختمان خاک و مواد آلی محدود می‌گردد. ریشه‌های فرعی گیاهان نیز ذرات خاک را بهم متصل می‌کنند و در تشکیل خاکدانه‌ها نقش مؤثری بازی می‌کنند. این تأثیر، به تعداد و نزدیکی ریشه‌های فرعی به سطح خاک بستگی دارد و گیاهان علفی از این نظر در بهترین شرایط قرار دارند. به‌طور کلی، اثر پوشش گیاهی در کاهش فرسایش به نوع پوشش، ارتفاع، تراکم و مرحله‌ی رشد گیاه بستگی دارد.

درباره‌ی نقش نوع پوشش گیاهی در کاهش فرسایش خاک، پژوهش‌های بسیاری توسط پژوهش‌گران مختلف صورت گرفته است. نتایج بررسی‌های بنت[1] بر روی میزان فرسایش در

1- Bennett

www.PnuNews.com

کاربری‌های مختلف نشان داد که میزان فرسایش در جنگل دست‌نخورده، مرتع، زمین زراعی و زمین لخت، به ترتیب، ۰/۰۰۵، ۰/۷۷، ۳۶ و ۱۶۶ تن در هکتار در سال می‌باشد. همچنین، وی بیان نمود که زمان لازم برای هدررفت ۱۸ سانتی‌متر از خاک سطحی در زمین‌های زراعی، ۷۰ سال است؛ در حالی که این زمان برای خاک جنگلی، حدود پانصد هزار سال می‌باشد.

اثر گیاهان زراعی نیز در کاهش فرسایش متفاوت است. برخی گیاهان زراعی (مانند گندم و جو)، پوشش یکنواختی ایجاد می‌کنند و تراکم آن‌ها نسبتاً خوب است و بنابراین فرسایش را تا حدی کنترل می‌کنند. این در حالی است که گیاهان ردیفی، تنها قسمتی از سطح خاک را می‌پوشانند و بنابراین فرسایش را (به‌ویژه در مراحل اولیه‌ی رشد گیاه) کمتر کنترل می‌کنند. چنانچه بخواهیم گیاهان زراعی در حفاظت خاک، نقش مؤثری داشته باشند؛ باید حداقل ۷۰ درصد سطح زمین را بپوشانند، ولی با پوشش ۴۰ درصد هم نقش حفاظتی آن‌ها چشمگیر خواهد بود.

برای کنترل فرسایش، گاهی به کشت گیاهان پوشش‌دهنده[1] اقدام می‌کنند. گیاهان پوشش‌دهنده به گیاهانی گفته می‌شوند که برای حفاظت سطح خاک در مقابل فرسایش، در زیر درخت‌های موجود در یک زمین و یا در فاصله‌ی برداشت یک محصول تا کاشت محصول دیگر کاشته می‌شوند. از مهم‌ترین گیاهانی که به‌عنوان پوشش‌دهنده کشت می‌شوند می‌توان چاودار و بقولات را نام برد. چاودار زمستانه، یکی از سازگارترین، انعطاف‌پذیرترین و اقتصادی-ترین محصولات پوششی در دسترس می‌باشد که از اواخر شهریورماه تا اوایل مهرماه کاشته می‌شود. این محصول تا زمان یخبندان رشد می‌کند و سپس رشد مجددش در اواخر اسفندماه (کمی زودتر از گندم) از سر گرفته می‌شود. در هر حال، برای داشتن یک محصول پوششی خوب در زمین و حفاظت در برابر فرسایش، بایستی حداقل یک ماه قبل از شروع یخبندان، عملیات کاشت این محصول پایان یافته باشد. محصولات پوششی لِگوم (بقولات) نیز می‌توانند از یک‌طرف، نیتروژن هوا را تثبیت کنند و موجب افزایش ماده‌ی آلی خاک گردند و از طرف دیگر، خاک را در برابر فرسایش حفاظت نمایند. ماشک، شبدر قرمز، شبدر شیرین، سویا و نخود معمولی از مهم‌ترین بقولاتی هستند که می‌توانند در راستای حفاظت خاک مورد استفاده قرار گیرند. بعلاوه، باید در نظر داشت که برای حفاظت خاک در زمستان می‌توان از گیاهان مقاوم به سرما (مانند ماش) استفاده نمود که به‌طور معمول باید آن را در فصل پاییز کاشت تا در

1- Cover plants

www.PnuNews.com

زمستان بتواند نقش پوشش‌دهندگی خود را اجرا کند.

همانگونه که پیش از این اشاره شد؛ ارتفاع گیاه نیز بر میزان هدررفت خاک مؤثر است. گیاهانی که با سطح خاک در تماس هستند؛ بیشتر از یک تاج پوشش گیاهی بلند که سطح زمین آن لخت است، فرسایش را کنترل می‌کنند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اگرچه پوشش گیاهی بلند، حجم آبی را که به زمین می‌رسد کاهش می‌دهد؛ ولی انرژی جنبشی قطره‌های باران را چندان تغییر نمی‌دهد و حتی ممکن است که آن را افزایش هم بدهد؛ زیرا قطره‌های باران، به‌دلیل پیوستن به یکدیگر در روی برگ‌ها بزرگ می‌شوند. گیاهانی که با سطح خاک در تماس هستند، سرعت جریان آب را کاهش می‌دهند و در نتیجه، عمق جریان افزایش می‌یابد. این افزایش عمق، جدا شدن ذرات خاک به‌وسیله‌ی باران را کاهش می‌دهد؛ زیرا مقدار زیادی از نیروی برشی باران را جذب می‌کند. با کم شدن نیروی برشی، جریان آب قادر نخواهد بود که مقدار زیادی از ذارت خاک را جدا سازد.

کشت توأم گیاهان زراعی با جنگل، از جمله روش‌هایی است که بر کاهش فرسایش خاک مؤثر است؛ زیرا پوشش ایجادشده بر سطح خاک می‌تواند اثر مضر قطره‌های باران را که به‌دلیل پیوستگی در سطح برگ‌ها بزرگ شده‌اند، کاهش دهد. بعلاوه، در اراضی‌یی که سامانه‌ی کشت همراه با درختان اجرا شده است، خصوصیاتی نظیر ساختمان، تخلخل، نفوذپذیری و ظرفیت تهویه‌ی خاک بهبود می‌یابند.

افزایش تراکم تعداد بوته در واحد سطح، یکی دیگر از فعالیت‌های مدیریتی برای کاهش تلفات خاک محسوب می‌گردد. از آنجا که افزایش تراکم می‌تواند سطحِ در معرض فرسایش خاک (سطح مؤثر برخورد قطره‌های باران) را کاهش دهد؛ در نتیجه، موجب کاهش فرسایش خاک می‌شود. ضربه‌ی قطره‌های باران با افزایش تراکم تاج پوششی و لاشبرگ‌های حاصل از گیاهان کاهش می‌یابد. بعلاوه، لاشبرگ گیاهی می‌تواند ساختمان، نفوذپذیری و پایداری خاک را بهبود بخشد.

از دیگر کارهای مدیریتی، کاهش فاصله‌ی بین ردیف‌های کاشت در گیاهان ردیفی می‌باشد که موجب می‌گردد سطح مؤثر برخورد قطره‌های باران کاهش یابد. به‌عنوان نمونه، تجربه ثابت کرده است که اگر فاصله‌ی بین ردیف‌های سویا از یک به نیم متر کاهش یابد؛ میزان تلفات خاک، ۳۵ درصد کاهش خواهد یافت.

مرحله‌ی رشد گیاه نیز در حفاظت خاک تأثیرگذار است. هرگاه توزیع باران‌های فرسایش‌زا

www.PnuNews.com

در تمام مراحل رشد گیاه، یکسان باشد؛ آنگاه اثر گیاه در حفاظت خاک، به‌طور معمول، همگام با رشد و نمو آن افزایش می‌یابد. توجه داشته باشید که در صورت بارش باران‌های خیلی‌شدید در مراحل بعدی رشد گیاه، ممکن است که فرسایش حاصل از آن‌ها، خیلی بیشتر از فرسایش مراحل اولیه‌ی رشد آن باشد. برای نمونه، پژوهش‌های انجام‌گرفته بر روی روان‌آب سطحی حاصل از آبیاری بارانی در مورد چهار محصول کتان، سیب زمینی، ذرت و بادام زمینی نشان دادند که میزان روان‌آب در اولین آبیاری، حدود ۱۰ درصد بود. این بدان علت بود که در اولین آبیاری، تاج پوششی محصولات مزبور، هنوز از رشد کافی برخوردار نبود و گیاهان در مراحل اولیه‌ی رشد قرار داشتند. بنابراین، بخش بزرگی از خاک در معرض ضربه‌ی قطره‌های باران حاصل از آبیاری قرار می‌گیرد و موجب تشکیل سله در سطح خاک می‌شود. تشکیل سله و متراکم شدن لایه‌ی سطحی خاک باعث شد تا در آبیاری‌های بعدی، برخلاف افزایش رشد این محصولات و بزرگ شدن تاج پوششی آن‌ها، میزان روان‌آب به ۳۷/۵ درصد افزایش یابد.

۴-۱-۱-۴-۴) استفاده از مالچ

یکی دیگر از روش‌های حفاظت خاک، مالچ‌پاشی[1] است. مالچ، واژه‌ای انگلیسی، به معنای "خاک‌پوش" می‌باشد که به هر نوع ماده‌ای (مانند تور سیمی، سنگ‌ریزه، کاه و کلش، پارچه، پلاستیک، مواد نفتی و غیره) گفته می‌شود که سطح خاک را بپوشاند. مالچ، اثر مخرب برخورد قطره‌های باران را کاهش می‌دهد و باعث تقلیل سرعت جریان آب یا باد می‌شود. حفظ رطوبت و تعادل درجه‌ی حرارت خاک از دیگر اثرهای مفید مالچ است. بسته به هدف و یا قابل دسترس بودن، مواد بسیار متفاوتی را می‌توان به‌عنوان مالچ، مورد استفاده قرار داد. استفاده از مالچ‌های شنی یا سنگ‌ریزه‌ای بر روی سطح خاک‌های ریزبافت می‌تواند از تشکیل سله جلوگیری کند و موجب افزایش سرعت نفوذپذیری و کاهش تبخیر شود. مالچ‌های آلی و بیوفاکتورها با ایجاد خلل و فرج درشت در خاک، نفوذپذیری را افزایش و روان‌آب را کاهش می‌دهند.

هرچه درصد پوشش مالچ کمتر باشد؛ میزان آبدوی و فرسایش خاک، بیشتر خواهد بود که این موضوع، به تشکیل سله در سطح خاک بر می‌گردد. در حقیقت، انرژی حاصل از ضربه‌ی قطره‌های باران، سبب خرد شدن ساختمان خاک سطحی و تشکیل سله می‌شود که از نتایج آن، کاهش سرعت نفوذ است. اگر نسبت تلفات خاک را در زمین مالچ‌پاشی شده به تلفات خاک

1- Mulching

www.PnuNews.com

در زمینی که مالچ‌پاشی نشده است، ضریب مالچ (MF) بنامیم؛ آنگاه این ضریب با افزایش درصد پوشش مالچ، به‌صورت توانی کاهش می‌یابد که رابطه‌ی آن به شکل زیر می‌باشد:

$$MF = \exp^{(-a.RC)}$$

که در این فرمول:

a= ثابت معادله

حدود تغییرات a، بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۷ است که به‌طور معمول، مقدار متوسط ۰/۰۵ را برای آن در نظر می‌گیرند.

RC= درصد پوشش مالچ

بقایای گیاهی، شامل آن قسمت از گیاهان سال گذشته است که پس از درو، در مزرعه باقی می‌مانند. بقایای گیاهی سال گذشته را می‌توان به‌صورت پوشش کلشی و یا به‌صورت مخلوط کردن با خاک، مورد استفاده قرار داد. در روش پوشش کلشی، پس از برداشت محصول، بقایای آن را تکه‌تکه می‌نمایند و در سطح خاک پخش می‌کنند. در روش مخلوط کردن بقایای گیاهی با خاک، پس از برداشت محصول، ابتدا بقایای آن را قطعه‌قطعه می‌کنند؛ سپس، در سطح زمین پخش می‌نمایند و در نهایت، به‌وسیله‌ی شخم، آن‌ها را با خاک مخلوط می‌کنند. به‌طور کلی، در درصدهای پوشش مساوی، اثر حفاظتی کاه و کلش باقی‌مانده از زراعت‌های قبلی، در مقایسه با تاج پوششی گیاه، به‌مراتب بیشتر است. دلیل عمده‌ی این موضوع، آن است که مالچ سطحی با داشتن سطح تماس کافی با زمین، از جریان هرزآب ممانعت می‌کند و در نتیجه، توان جدا شدن و انتقال ذرات را کاهش می‌دهد.

بیسلی[1] اظهار می‌دارد که هرچه درصد پوشش مالچ بیشتر باشد؛ میزان آبدوی و فرسایش خاک، کمتر خواهد بود. جدول ۴-۲، میزان آبدوی و فرسایش حاصل از باران‌های شدید را برای کشت‌های ردیفی نشان می‌دهد که در آن‌ها بقایای گیاهی به مقادیر متفاوتی در روی خاک قرار داده شده‌اند.

1- Beasley

www.PnuNews.com

جدول (۴-۲): میزان آبدوی و فرسایش برای مقادیر متفاوت بقایای گیاهی موجود در سطح خاک

میزان مالچ (تن در هکتار)	آبدوی (سانتی‌متر)	خاک از بین رفته (تن در هکتار در سال)
بدون مالچ	۸/۲	۳۵/۸
۰/۶۲	۶/۹	۱۴/۳
۱/۲۴	۵/۹	۹/۱
۲/۴۸	۴/۹	۴/۲

عده‌ای از پژوهش‌گران عقیده دارند که حداکثر تأثیر مالچ در حفاظت خاک، زمانی خواهد بود که درصد پوشش آن، مناسب (بین ۷۰ تا ۷۵ درصد) باشد؛ زیرا درصد پوشش زیاد، رشد محصول را کاهش می‌دهد و درصد پوشش کم، اثر حفاظتی ناچیز دارد.

۴-۱-۱-۴-۵) کشت مجدد

کشت مجدد گیاه در حاشیه‌ی جاده‌ها، خاکریزها و یا مناطقی که درختان آن به نحوی قطع شده‌اند، از نظر کنترل فرسایش، بسیار حایز اهمیت است. از آنجا که پوشش گیاهی در فرسایش خندقی و یا نقاطی که در معرض خطر زمین‌لغزه قرار دارند، نقش قابل توجهی ایفا می‌کند؛ این موضوع اهمیت پیدا می‌کند. به دیگر سخن، یکی از روش‌های کاهش روان‌آب و افزایش نفوذ در مناطق خندقی، کشت گیاه در این نواحی است؛ به‌گونه‌ای که زمین‌های اطراف خندق‌ها با چمن، بقولات، بوته‌ها و یا درختان پوشش داده شوند. تجربه نشان داده است که با این روش، تلفات خاک، ۷۵ تا ۹۰ درصد و سرعت خندقی‌شدن زمین‌ها، ۶۵ تا ۸۰ درصد کاهش می‌یابد.

هنگام بررسی امکان کشت مجدد گیاه، باید به موضوع خاک، حاصلخیزی آن و تمام عواملی که بر رشد گیاه مؤثر هستند (مانند خشک و مرطوب‌شدن متناوب خاک در طول سال، درجه‌ی حرارت، میزان شیب، جهت شیب و توپوگرافی)، توجه نمود. برای کشت مجدد باید گونه‌هایی انتخاب شوند که رشد سریعی دارند و در مقابل آفات و بیماری‌ها مقاوم هستند. همچنین، باید سعی شود تا از انتخاب گونه‌های غیربومی‌که ممکن است به شرایط محلی حساس باشند، خودداری شود (مگر در مواردی که ارقام مورد نظر، در منطقه وجود نداشته باشند). بنابراین، بهتر است که قبل از تصمیم‌گیری در مورد نوع واریته‌ی گیاهان، به مناطق مجاور توجه شود تا

www.PnuNews.com

شاید بتوان از بین همان ارقام بومی موجود، برخی را انتخاب نمود.

۴-۱-۱-۴-۶) تناوب زراعی

کشت مداوم یک گیاه زراعی در یک زمین معین، صحیح نمی‌باشد؛ چراکه ساختمان خاک تخریب می‌گردد و زمین مزبور، مستعد فرسایش می‌شود. بعلاوه، در صورت اعمال این روش، ریشه‌ها همواره از افق مشخصی تغذیه می‌کنند که این موضوع، به‌تدریج منجر به کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود و پیامد آن، فرسوده‌شدن خاک است. از طرفی، در یک سامانه‌ی کشت مداوم، زمین در حد فاصل دو کشت متوالی، مدتی بدون پوشش گیاهی باقی می‌ماند که این عامل نیز خود می‌تواند فرسایش خاک را به‌همراه داشته باشد. بنابراین، در بیشتر سامانه-های کشاورزی مکانیزه، تناوب زراعی اعمال می‌شود که به موجب آن، یک توالی از محصولات در یک مزرعه‌ی یکسان، رشد داده می‌شوند تا بتوانند خاک را بهتر حفاظت کنند. برای مثال، در یک تناوب زراعی "بقولات- گندمیان"، هرچند نرخ فرسایش در سال‌هایی که مزرعه، تحت زراعت بقولات قرار دارد؛ بیشتر از سال‌هایی است که گندمی‌ها کاشته می‌شوند؛ لیکن در مجموع، میانگین نرخ فرسایش سالانه در سطح قابل قبول نگه داشته می‌شود.

تناوب زراعی باید طوری سازمان‌دهی شود که برای حفظ حاصلخیزی خاک، کنترل آفات و بیماری‌ها، و حذف علف‌های هرز سازگار گردد. در یک تناوب زراعی مناسب، مواد آلی حاصل از پوشش‌های مختلف گیاهی، خصوصیات فیزیکی خاک را بهبود می‌بخشند. همچنین، به‌علت تغییر عمق توسعه‌ی ریشه، مواد غذایی و آب عمق‌های مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، تغییر نوع گیاه در یک تناوب زراعی، دوره‌ی تسلسل افزایش امراض و آفات را می‌شکند. برای نمونه، در هندوستان، کشت برنج و مرتع را به‌صورت تناوب در می‌آورند که این روش، علاوه بر افزایش محصول، در مبارزه با آفات برنج، به‌طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر می‌باشد. همچنین، می‌توان با برقراری تناوب زراعی بین کشت پنبه و برنج، شدت و گسترش کرم پنبه و کرم برنج را (که دو آفت مهم در شمال ایران به‌شمار می‌آیند) کاهش داد.

در مورد نقش تناوب زراعی در حفاظت خاک، پژوهش‌های متعددی انجام شده‌اند. جدول ۴-۳، بیانگر نتایج حاصل از پژوهشی است که در ایالت جورجیای امریکا صورت گرفته است.

www.PnuNews.com

جدول (۴-۳): نقش تناوب زراعی در کاهش آبدوی و فرسایش خاک

سامانه‌ی تناوب زراعی	متوسط آبدوی (میلی‌متر در سال)	متوسط خاک از بین رفته (تن در هکتار در سال)
نی، نی، ذرت، پنبه	۶۷	۳/۳
به‌طور مداوم پنبه	۲۵۶	۳۴/۶

به‌طور کلی، از بین رفتن خاک در حین یک تناوب زراعی، بیشتر هنگامی اتفاق می‌افتد که گیاهان زراعی، زمین را اشغال کرده باشند. بین گیاهان مختلف زراعی که در تناوب قرار داده می‌شوند، گیاهان زراعی ردیفی، بیش از بقیه، خاک را در معرض فرسایش قرار می‌دهند. بنابراین، به‌منظور حفاظت خاک، در اجرای یک تناوب زراعی مناسب باید نکات زیر را مد نظر قرار داد:

۱) تا جایی که از نظر اقتصادی اشکال نداشته باشد، زمانی را که زمین به‌وسیله‌ی یک گیاه زراعی پوشیده می‌شود، کاهش داد و حتی‌الامکان زمانی را که زمین از گِراس (علف) یا لگوم (بقولات) پوشیده می‌شود، افزایش داد.

۲) اگر فرسایش خاک شدید نباشد، گیاهان ردیفی را می‌توان هر دو سال یک‌بار در تناوب قرار داد؛ ولی اگر خطر فرسایش، شدید باشد، توصیه می‌شود که گیاهان ردیفی، هر پنج تا هفت سال یک‌بار در چرخه‌ی تناوب قرار گیرند.

۳) نظر به اینکه گیاهان گندمی و آیش‌های طبیعی، نقش مهندسی مهمی در فراهم آوردن پوشش زمین و تقویت ریشه‌ها در خاک بازی می‌کنند؛ به‌طور معمول، در ابتدای اجرای یک تناوب زراعی از آن‌ها استفاده نمی‌شود.

یکی از حالت‌های خاص تناوب زراعی، کشت چند محصولی[1] است. در این روش، در عین حالی که سطح خاک در مقابل فرسایش محافظت می‌شود؛ از زمین، حداکثر استفاده به‌عمل می‌آید. بدین معنی که در یک سال، چند محصول پشت سر هم کشت می‌شوند و یا اینکه در یک زمین برای یک زمان مشخص، دو یا چند نوع زراعت انجام می‌گیرند. کشت چند محصولی در سطوح کوچک و جاهایی که زمین ارزش فراوان دارد، عملی است؛ زیرا هزینه‌هایی که صرف این‌کار می‌شود از درآمد بیشتر حاصل از زمین، جبران می‌شود. در هر حال، انجام این شیوه در

1- Multiple cropping

www.PnuNews.com

زمین‌های وسیع کشاورزی که وسعت آن‌ها از ۰/۲ هکتار بیشتر باشد، به لحاظ اقتصادی ممکن است که قابل توجیه نباشد.

۴-۱-۱-۴-۷) استفاده از پلیمرها

از مدت‌ها قبل، نقش پلیمرها در تغییر ساختمان فیزیکی خاک شناخته شده است؛ ولی به‌دلیل بالا بودن قیمت و مشکلات کاربرد آن‌ها در مزرعه، برای اراضی کشاورزی توصیه نشده‌اند. در هر حال، استفاده از اینگونه مواد نیز می‌تواند در حفاظت خاک، مد نظر قرار گیرد.

پلیمرها از دو راه بر پایداری خاک تأثیر می‌گذارند:

۱) مولکول‌های پلیمر، مانند یک پُل، بین ذرات خاک قرار می‌گیرند و با تشکیل پیوندهایی در بین آن‌ها، ایجاد خاکدانه می‌کنند.

۲) مولکول‌های پلیمر، با جذب شدن بر روی سطح ذرات رس، موجب تغییر در خصوصیت‌های فیزیکی و شیمیایی سطوح رس‌ها می‌شوند و نیروهای دافعه‌ی بین ذرات باردار رس را کاهش می‌دهند.

۴-۱-۱-۴-۸) کشت روی خطوط تراز[1]

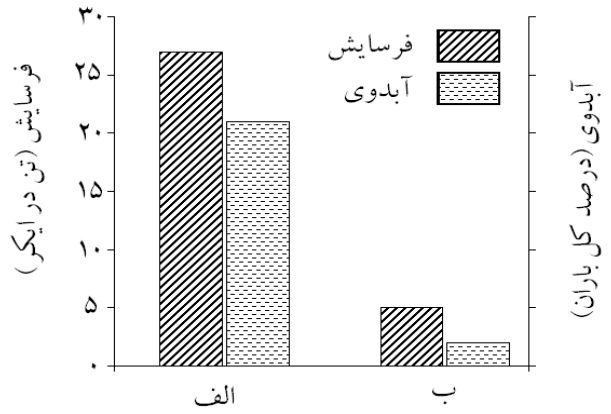
در این روش، عملیات شخم، حتی‌الامکان بر روی خطوط تراز انجام می‌گیرد. اگر عملیات زراعی (مانند شخم و دیسک زدن) در جهت شیب زمین انجام گیرد؛ آنگاه آب باران، به‌تدریج در راستای شیب، آبراهه‌های کوچکی را به‌وجود می‌آورد. این آبراهه‌ها کم‌کم بهم می‌پیوندند و ممکن است که به فرسایش خندقی منجر شوند. حال اگر عملیات زراعی در روی خطوط تراز انجام شود؛ در آن‌صورت، آب باران به‌علت وجود پشته‌ها قادر نخواهد بود که در جهت شیب زمین حرکت کند و فرسایش ایجاد کند.

این نوع کشت، علاوه بر خاک، آب را نیز حفاظت می‌کند و رطوبت بیشتری را برای محصول فراهم می‌کند. فوت و تورک[2] (۱۹۷۲) تأثیر کشت روی خطوط تراز را در کاهش فرسایش و آبدوی، مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که میزان فرسایش و آبدوی در حالتی که ردیف‌های کشت در امتداد خطوط تراز هستند، به ترتیب، حدود ۵ و ۱۴ برابر کمتر

1- Contour farming
2- Foth and Turk

www.PnuNews.com

از حالتی می‌باشند که ردیف‌های کشت با همان طول، اما در جهت شیب قرار دارنـد (شـکل ۴-۲).



شکل (۴-۲): نقش کشت روی خطوط تراز در کاهش آبدوی و فرسایش
الف) ردیف‌های کشت به طول ۴۸ متر در جهت شیب زمین
ب) ردیف‌های کشت به طول ۴۸ متر در امتداد خطوط تراز

به‌طور کلی، برای کاهش فرسایش خاک در امتداد خطوط تراز بایستی به سـه ویژگـی زیـر توجه نمود:

۱) خصوصیات خاک
۲) بارندگی
۳) توپوگرافی

در مورد خصوصیات خاک باید اشاره کرد که ایـن روش بـرای خـاک‌هـایی کـه از زهکشـی خوبی برخوردار نمی‌باشند، کاربرد آنچنانی نخواهد داشت؛ چراکه در این نـوع خـاک‌هـا، در اثـر کشت بر روی خطوط تراز، خاک از آب اشباع می‌شود و به‌سادگی در امتداد شـیب زمـین، بـه-طرف پایین حرکت می‌کند. بنابراین، کشت در روی خطوط تراز، هنگامی مؤثر خواهد بـود کـه هم خاک سطحی و هم خاک عمقی، از نفوذپذیری خوبی برخوردار باشند.

کارایی کشت بر روی خطوط تراز در جلوگیری از فرسایش حاصل از باران‌های شدید، حدود صفر می‌باشد؛ زیرا وقتی بارندگی شدید باشد، آب حاصل از آن، شیارها را به‌سرعت پُر می‌کند و

www.PnuNews.com

در نتیجه، آب از روی پشته‌ها سرازیر می‌شود و موجب خرابی سامانه می‌گردد. همچنین، کارایی این روش برای شیب‌های خیلی‌کم و خیلی‌زیاد، ناچیز خواهد بود. براساس معادله‌ی جهانی فرسایش، حداکثر تأثیر عملیات کشت بر روی خطوط تراز، در محدوده‌ی شیب‌های سه تا هشت درصد است؛ چون هنگامی‌که شیب زمین کاهش می‌یابد و به اندازه‌ی شیب خطوط کشت‌وکار می‌شود؛ این عملیات، نقشی در کنترل فرسایش ندارد. از سوی دیگر، وقتی شیب تندتر می‌شود؛ ظرفیت جوی‌ها در هدایت و نگهداری هرزآب و جلوگیری از فرسایش کاهش می‌یابد.

با توجه به مطالب بیان‌شده، کشت بر روی خطوط تراز در مناطق با شیب تند، بارندگی شدید و خاک‌های غیر قابل نفوذ یا با نفوذپذیری کم توصیه نمی‌شود؛ زیرا انجام این عملیات برای اینگونه مناطق، نه تنها مانع از جریان آبدوی به سمت پایین شیب نمی‌شود، بلکه ممکن است که به فرسایش شدید و حتی گودالی‌شدن زمین منجر گردد.

۴-۱-۱-۴-۹) کشت نواری[1]

اگرچه کشت‌وکار در امتداد خطوط تراز، فرسایش را به میزان قابل توجهی کم می‌کند؛ ولی در مواقعی که به‌دلیل شرایط خاص منطقه، امکان کشت بر روی خطوط تراز وجود نداشته باشد، کشت نواری انجام می‌شود.

کشت نواری، بیانگر سامانه‌ای است که در آن، محصول مورد نظر و گیاهان مقاوم به فرسایش (مانند علف‌ها و بقولات)، در نوارهای متناوب و در سراسر شیب منطقه کشت می‌شوند. در کشت نواری، سرعت جریان آب که در نوارهای محصول زیاد است، در اثر برخورد با نوارهای متراکم علوفه کم می‌شود و در اثر کاهش آبدوی، به رسوب مواد منجر می‌گردد. بعلاوه، در کشت نواری، مواد آلی به خاک اضافه می‌شوند که این‌کار نیز موجب اصلاح فیزیکی خاک می‌شود. به‌طور کلی، بررسی‌ها نشان داده‌اند که کشت نواری نسبت به کشت بر روی خطوط تراز، فرسایش را حدود ۵۰ درصد بیشتر کاهش می‌دهد.

نکته‌ی قابل توجه در مورد کشت نواری، چگونگی طراحی عرض نوارها می‌باشد. در واقع، عرض نوارها را طوری انتخاب می‌کنند که میزان تلفات خاک به کمترین مقدار برسد. به‌طور کلی، عرض نوارها به درجه و طول شیب، فرسایش‌پذیری خاک، نوع گیاه کشت‌شده در نوارها و

1- Strip cropping

www.PnuNews.com

خصوصیات بارندگی بستگی دارد. در هر حال، عرض مناسب نوارها برای هر محل، به‌طور تجربی به‌دست می‌آید. جدول ۴-۴، نشان‌دهنده‌ی عرض نوارهای توصیه‌شده توسط سازمان خوار و بـار جهانی (فائو) برای خاک‌هایی است که نفوذپذیری آن‌ها زیاد است. همانگونه که در ایـن جـدول مشاهده می‌گردد؛ عرض‌های مختلف، با توجه به درصد شیب زمین، مد نظر قرار گرفته‌اند.

جدول (۴-۴): عرض نوارهای توصیه‌شده برای کشت نواری (فائو، ۱۹۷۹)

درصد شیب زمین	عرض نوارها (برحسب متر)
۲ تا ۵	۳۰
۶ تا ۹	۲۵
۱۰ تا ۱۴	۲۰
۱۵ تا ۲۰	۱۵

در هر حال، سه نوع کشت نواری، مرسوم می‌باشند که عبارتند از:

۱) کشت نواری در امتداد خطوط تراز[1]

۲) کشت نواری در مزرعه[2]

۳) کشت نواری همراه با کشت گیاهان فرعی یا بافر[3]

در کشت نواری نوع اول، نوارها در امتداد خطوط تراز طراحی می‌گردند. در صورتی که پستی و بلندی زمین، حالت منظم داشته باشد؛ عرض نوارها تقریباً یکسان خواهد بود. اما اگر پستی و بلندی زمین، نامنظم باشد؛ عرض نوارها متفاوت خواهد بود که در این حالت، عملیات کشت‌وکار به‌دلیل نامنظمی نوارها، مشکل خواهد بود. در چنین شرایطی، باید قسمت‌های غیریکنواخت و نامنظم را کنار گذاشت و در آن‌ها علوفه یا درخت کشت نمود. به‌طور کلی، می‌توان گفت که نقش کشت نواری در امتداد خطوط تراز در کنترل فرسایش، حدود دو برابر نقش کشت در روی خطوط تراز است.

در کشت نواری نوع دوم، به‌منظور سهولت در عملیات کشت‌وکار، نوارهای هم‌عرض را بدون

1- Contour strip cropping
2- Field strip cropping
3- Buffer strip cropping

www.PnuNews.com

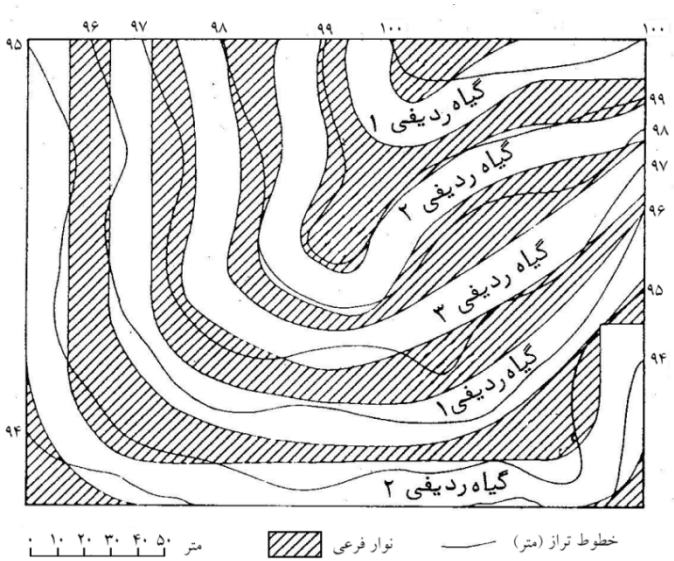
توجه به خطوط تراز، به موازات یک خط راهنما طراحی می‌کنند که به‌طور معمول، این خط راهنما، عمود بر شیب عمومی (اصلی) زمین است. کشت نواری در مزرعه، اغلب برای شیب‌های نامنظمی استفاده می‌شود که ایجاد کشت نواری در امتداد خطوط تراز آن‌ها غیرممکن است.

کشت نواری نوع سوم، ترکیبی از یک‌سری نوارهای باریک حامی یا بافر (که در برگیرنده‌ی یک گیاه فرعی می‌باشند) با نوارهای عریض محصول است که به‌طور متناوب کشت می‌شوند. عرض نوارهای حامی، متفاوت می‌باشد و به‌طور معمول، حدود دو تا چهار متر است. در مواردی که خاک، فرسایش‌پذیر می‌باشد و شیب زمین زیاد است؛ نوارهای حامی، زیر کشت گیاهان مقاوم به فرسایش (مانند علوفه یا بقولات) قرار می‌گیرند و در سایر موارد، درخت‌کاری می‌شوند. توجه داشته باشید که در این روش، مجموع نوارهای حامی و محصول، بر روی خطوط تراز قرار می‌گیرند (شکل ۴-۳).

به‌طور کلی، میزان کارایی روش‌های مختلف کشت نواری در حفاظت خاک و آب، از روند زیر تبعیت می‌کند:

"کشت نواری در مزرعه < کشت نواری همراه با کشت گیاهان بافر < کشت نواری در امتداد خطوط تراز"

www.PnuNews.com



شکل (۴-۳): چگونگی انجام کشت نواری همراه با کشت گیاهان فرعی

۴-۱-۲) حفاظت مکانیکی

عملیات حفاظت مکانیکی (مستقیم) که از آن تحت عنوان روش "مبارزه‌ی مهندسی خاک" نیز یاد می‌گردد، به‌طور معمول با صرف هزینه‌های زیاد همراه است و در موارد زیر انجام می‌شود:

۱) در مکان‌هایی که حفاظت غیرمکانیکی امکان‌پذیر نباشد (مانند استقرار پوشش گیاهی در اراضی به‌شدت فرسایش‌یافته، اراضی شور و یا برخی از شنزارها).

۲) در موارد بحرانی و مواقعی که محدودیت زمانی وجود داشته باشد (مانند جلوگیری از هدررفت شدید خاک (فرسایش خندقی) در اراضی کشاورزی یا مناطق مسکونی).

۳) در مواردی که توجیه اقتصادی وجود داشته باشد و یا از نظر سیاسی و اجتماعی، حایز اهمیت باشد.

روش‌های مکانیکی، روش‌های زود بازده‌ای می‌باشند؛ لیکن برای حفظ و پایداری آن‌ها، انجام عملیات غیرمکانیکی الزامی است. به‌طور کلی، هدف از انجام این روش‌ها را می‌توان در سه مورد زیر خلاصه نمود:

www.PnuNews.com

۱) جلوگیری از سرعت آب‌های جاری، قبل از اینکه سرعت جریان آب به حد آستانه‌ی فرسایش برسد.

۲) نفوذ دادن تمام یا قسمتی از آب‌ها در زمین

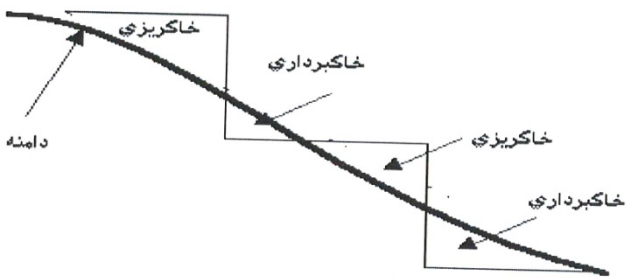
۳) هدایت آب‌های اضافی به‌طرف مجاری خروجی مطمئن

در مبارزه‌ی مکانیکی یا مستقیم، تلاش می‌گردد تا شیب زمین تغییر داده شود که این‌کار به دو شیوه‌ی سکوبندی (تراس‌بندی)[1] و ایجاد بانکت[2] انجام می‌شود.

۴-۱-۲-۱) تراس‌بندی

هدف از ایجاد تراس، از بین بردن شیب دامنه، از طریق تبدیل طول دامنه به تراس‌ها یا سکوهایی با سطح تقریباً افقی و با دیواره‌های تقریباً عمودی است که با کاهش سرعت آب، از رسیدن سرعت روان‌آب‌ها به سرعت آستانه‌ی فرسایش جلوگیری شود.

در هنگام تراس‌بندی یک سطح شیب‌دار، در یک قسمت، عملیات خاکبرداری انجام می‌شود و در قسمت دیگر، خاکریزی صورت می‌پذیرد (شکل ۴-۴). به‌طور عمده، عملیات تراس‌بندی در دامنه‌های با شیب بیش از ۲۵ درصد و دارای خاک زیرین نفوذپذیر اجرا می‌گردد. از آنجا که در این روش، تمام سطح شیب‌دار به‌صورت سکو در می‌آید؛ این‌کار در مناطقی انجام می‌شود که ارزش زمین، بسیار زیاد باشد و بهره‌برداری از زمین، ارزش اقتصادی بالایی داشته باشد.



شکل (۴-۴): چگونگی انجام عملیات خاکبرداری و خاکریزی در هنگام ایجاد تراس

1- Terracing
2- Banquette

www.PnuNews.com

در هر حال، محدود بودن موارد استفاده از تراس (به‌طور عمده، برای عملیات کشت‌وکار و احداث باغ)، هزینه‌ی زیاد عملیات خاکبرداری و خاکریزی، اختلاط خاک سطحی و عمقی، محدود بودن شیب زمین و امکان لغزش خاک در موارد خاص را می‌توان از جمله‌ی مهم‌ترین محدودیت‌ها یا عیب‌های تراس‌بندی قلمداد نمود.

۴-۱-۲-۱-۱) انواع تراس براساس شیب دامنه

تراس‌ها را بر مبنای مایل بودن یا قائم بودن شیب دامنه‌ها به دو دسته‌ی زیر طبقه‌بندی می‌کنند:

۱) تراس سکویی مایل (تراس با شیب ملایم):

این تراس‌ها در شیب‌های ملایم و در مناطقی ساخته می‌شوند که خطر ریزش دیواره، کم است. به همین دلیل، تراس‌های مزبور، بدون دیواره‌ی محافظ ساخته می‌شوند و هزینه‌ی کمتری دارند.

۲) تراس سکویی قائم (تراس با دیواره‌ی محافظ):

اینگونه تراس‌ها در شیب‌های تند و با دیواره‌ی قائم ساخته می‌شوند. تراس‌های مزبور در مناطقی احداث می‌شوند که خطر ریزش و لغزش دیواره‌ی عمودی دامنه وجود دارد. به‌طور معمول، برای پایداری بیشتر، دیواره‌های محافظ را با سنگ و گاهی با آجر یا چوب می‌سازند.

۴-۱-۲-۱-۲) انواع تراس براساس شیب طولی

گاهی اوقات، تراس‌ها را بر مبنای اینکه شیب طولی آن‌ها به چه شکلی است، گروه‌بندی می‌کنند که انواع مهم تراس بر این اساس، عبارتند از:

۱) تراس مسطح (افقی):

آبراهه‌ی اینگونه تراس‌ها مسطح می‌باشد و دو انتهای آن، به‌طور معمول بسته است. به عبارت دیگر، این نوع از تراس‌ها شیب طولی ندارند. در نتیجه، آب می‌تواند در آبراهه‌ی تراس ذخیره شود و به‌تدریج در خاک نفوذ کند. به اینگونه تراس‌ها، "تراس‌های نگه‌دارنده‌ی آب" یا "تراس‌های جذبی" نیز می‌گویند؛ زیرا بیشتر در مناطقی ساخته می‌شوند که با کمبود آب روبرو هستند و سرعت نفوذپذیری خاک، بیشتر از شدت بارندگی است. بنابراین، عمل اصلی این تراس‌ها، حفاظت آب است.

www.PnuNews.com

۲) تراس شیب‌دار (انحرافی):

آبراهه‌ی این تراس‌ها دارای شیب جزئی است تا درصورت بیشتر بودن شدت بارندگی نسبت به سرعت نفوذپذیری خاک، آب نتواند در آبراهه‌ی تراس تجمع یابد؛ بلکه به‌وسیله‌ی آبراهه‌ی خروجی از منطقه خارج شود. اینگونه تراس‌ها در شرایطی طراحی می‌شوند که سه ویژگی نفوذپذیری خاک، جنس لایه‌های زمین و شدت بارندگی، مساعد نباشند. به دیگر سخن، تراس-های شیب‌دار در مناطقی ایجاد می‌شوند که شدت بارندگی از سرعت نفوذپذیری خاک بیشتر باشد. به همین دلیل، عمل اصلی این تراس‌ها حفاظت خاک است، ولی تا حدی آب را نیز محافظت می‌کنند.

۳) تراس پله‌ای (سکویی):

اینگونه تراس‌ها در شیب‌های بسیارتند (حتی تا شیب ۵۰ درصد) ساخته می‌شوند و برای کشت درختان میوه و ایجاد باغ، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴) تراس آبیاری:

سکوی این تراس‌ها بدون شیب طولی است و دارای لبه‌ای می‌باشد که می‌تواند آب آبیاری را بر روی سکو نگه دارد و اجازه داده شود که تمامی روان‌آب در خاک نفوذ کند. اینگونه تراس‌ها در مزارع چای و برنج کاربرد دارند.

۴-۱-۲-۱-۳) محاسبات مربوط به تراس‌ها

حجم خاکبرداری لازم برای ایجاد یک متر تراس سکویی مایل را می‌توان از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$V = \frac{PL^{2}}{8}(1 - \frac{P}{\gamma})$$

که در این فرمول:

V= حجم خاکبرداری (بر حسب مترمکعب)

P= شیب زمین (بر حسب متر در متر)

γ= شیب دیواره‌ی تراس (بر حسب متر در متر)

L= عرض سکوی قائم (بر حسب متر)

در صورتی که بخواهید عرض سکوی مایل (l: بر حسب متر) را به‌دست آورید، باید از فرمول زیر استفاده نمایید:

www.PnuNews.com

$$l = L(۱ - \frac{P}{\gamma})$$

مثال:

حجم خاکبرداری لازم در یک سامانه‌ی تراس‌بندی سکویی مایل را در زمینی به طول ۱۵۰ متر و با شیب ۱۰ درصد محاسبه نمایید، اگر که در آن زمین، چهار ردیف تراس با شیب دیواره‌ای برابر ۲۵ درصد کشیده شده باشد و هر تراس، دارای عرض ۱۴ متر باشد.

حل:

ابتدا باید عرض سکوی قائم را به‌دست آورد:

$$۱۴ = L \times (۱ - (۰/۱ \div ۰/۲۵)) \Rightarrow L = ۲۳/۳ \text{ (متر)}$$

حال، حجم خاکبرداری لازم برای ایجاد یک متر تراس سکویی مایل، برابر خواهد بود با:

$$V = (۰/۱ \times (۲۳/۳)^۲) \div ۸) \times (۱ - (۰/۱ \div ۰/۲۵)) = ۴/۰۷ \text{ (مترمکعب)}$$

چون طول زمینی که می‌خواهد تراس‌بندی شود، ۱۵۰ متر است؛ بنابراین:

$$۴/۰۷ \times ۱۵۰ = ۶۱۰/۵ \text{ (مترمکعب)}$$

و چون چهار ردیف تراس کشیده شده است؛ پس حجم کل خاکبرداری، برابر خواهد بود با:

$$۶۱۰/۵ \times ۴ = ۲۴۴۲ \text{ (مترمکعب)}$$

***

بدیهی است که حجم خاکبرداری لازم برای ایجاد یک متر تراس سکویی قائم، با توجه به فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$V = \frac{PL^2}{۸}$$

در صورتی که بخواهید فاصله‌ی عمودی[1] بین دو تراس را محاسبه نمایید، می‌توانید از فرمول تجربی زیر بهره بگیرید که توسط سرویس حفاظت خاک امریکا (SCS) ارایه شده است:

$$VI = ۰/۳(XS + Y)$$

که در آن:

VI= فاصله‌ی عمودی بین دو تراس متوالی (بر حسب متر)

X= عدد متغیری است که برای تراس‌های شیب‌دار، برابر ۰/۴ و برای تراس‌های افقی (بدون شیب)، برابر ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

1- Vertical interval

www.PnuNews.com

S= شیب زمین (بر حسب درصد)

Y= فاکتور متغیری است که بسته به خصوصیات فرسایش‌پذیری خاک و پوشش گیاهی، بین ۱ تا ۴ تغییر می‌کند. مقدار Y برای خاک‌هایی که نفوذپذیری آن‌ها پایین‌تر از حد متوسط (گروه‌های هیدرولوژیکی C و D) است و پوشش گیاهی کمی دارند، عدد ۱ در نظر گرفته می‌شود. برای خاک‌هایی که نفوذپذیری آن‌ها در حد متوسط (گروه هیدرولوژیکی B) می‌باشد و از پوشش گیاهی متوسطی برخوردار هستند، عدد ۲/۵ در نظر گرفته می‌شود. همچنین، در خاک‌هایی که نفوذپذیری آن‌ها بالای حد متوسط (گروه هیدرولوژیکی A) است و دارای پوشش گیاهی خوبی می‌باشند، عدد ۴ در نظر گرفته می‌شود.

برای محاسبه‌ی فاصله‌ی افقی[1] بین دو تراس، از فرمول شیب استفاده می‌گردد:

$$\mathrm{tg}\alpha = \mathrm{S} = \frac{\mathrm{VI}}{\mathrm{HI}}$$

$$\Rightarrow \mathrm{HI} = \frac{\mathrm{VI}}{\mathrm{S}}$$

که در این فرمول:

HI= فاصله‌ی افقی بین دو تراس متوالی (بر حسب متر)

S= مقدار شیب (بر حسب متر در متر)

مثال:

مطلوب است محاسبه‌ی فاصله‌ی عمودی و افقی بین دو تراس افقی متوالی در شرایطی که خاک منطقه‌ای با شیب ۱۰ درصد، دارای نفوذپذیری و پوشش گیاهی متوسط باشد.

حل:

$$\mathrm{VI} = ۰/۳ \times ((۰/۸ \times ۱۰) + ۲/۵) = ۳/۱۵ \text{ (متر)}$$

$$\mathrm{HI} = (۳/۱۵ \div ۰/۱) = ۳۱/۵ \text{ (متر)}$$

1- Horizontal interval

www.PnuNews.com

۴-۱-۲-۲) بانکت‌بندی

بانکت، واژه‌ای فرانسوی به معنای "جوی و پشته" است که اولین‌بار در سال ۱۸۹۷ توسط چاتِلاین[1] پیشنهاد شد. در سال‌های اخیر، آمریکایی‌ها اسم آن را "کانال‌های روی خطوط تراز"[2] نامیده‌اند. در عملیات بانکت‌بندی، جوی و پشته‌هایی با فواصل معین و عمود بر خط بزرگ‌ترین شیب دامنه، بر روی خطوط تراز ایجاد می‌شوند. این عمل، باعث حرکت روان‌آب بر روی سطح شیب‌دار مورد نظر می‌گردد و قبل از آن‌که سرعت آن به حد آستانه‌ی فرسایش برسد، وارد بانکت بعدی می‌شود. به‌طور کلی، دو هدف عمده از بانکت‌گذاری عبارتند از:

۱) اجازه‌ی نفوذ آب به خاک

۲) کاهش سرعت جریان‌های سطحی و جلوگیری از رسیدن سرعت آن‌ها به آستانه‌ی فرسایش

۴-۱-۲-۲-۱) مقایسه‌ی بانکت با تراس

از جمله‌ی مهم‌ترین تفاوت‌های موجود بین بانکت و تراس می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱) بجز تراس پله‌ای، مقدار شیب در سایر تراس‌ها حداکثر ۲۵ درصد می‌باشد و به‌طور عمده، سطح تراس برای کارهای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که بانکت‌ها، به‌طور معمول، در شیب‌های بیش از ۲۵ درصد (و حتی بالای ۷۰ درصد) ایجاد می‌شوند و اغلب به‌منظور احیای مراتع و یا کاشت نهال (ایجاد جنگل مصنوعی) در اراضی مرتعی و منابع طبیعی توصیه می‌شوند.

۲) در تراس‌بندی، اجازه‌ی حرکت روان‌آب روی سطح شیب‌دار داده نمی‌شود؛ در صورتی‌که در بانکت‌بندی، روان‌آب روی سطح شیب‌دار حرکت می‌کند و قبل از رسیدن به آستانه‌ی فرسایش، به یک بانکت دیگر وارد می‌شود.

۳) از آنجا که در تراس‌بندی، تمام سطح شیب‌دار به‌صورت پله یا سکو در می‌آید؛ بنابراین، هزینه‌ی آن نسبت به بانکت‌بندی، بسیار بیشتر است. به عبارت دیگر، برای ایجاد بانکت، عملیات خاکبرداری و خاکریزی، تنها در فواصل خاص انجام می‌گیرد؛ حال آنکه در تراس‌بندی، باید تمام سطح شیب‌دار را خاکبرداری و خاکریزی نمود.

1- Chatelain

2- Contour trenches

www.PnuNews.com

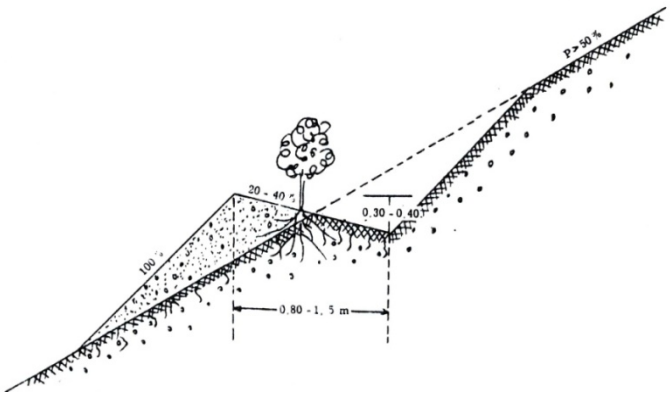
۴-۱-۲-۲-۲) انواع بانکت (تراس آبراهه‌ای)

به‌طور کلی، براساس ابعاد بانکت و شیب زمین، دو نوع بانکت وجود دارد که عبارتند از:

الف) بانکت‌های با شیب زیاد

به‌طور معمول، این نوع بانکت‌ها برای کشت درختان میوه و یا جنگل‌کاری به‌کار می‌روند که خود به دو دسته‌ی "تراس آبراهه‌ای با نیمرخ وی- شکل یا گرادین"[1] و "تراس آبراهه‌ای با نیمرخ ذوزنقه‌ای یا با نیمرخ نرمال" تقسیم‌بندی می‌شوند.

به‌طور عمده، بانکت‌های با نیمرخ وی- شکل، در شیب‌های تند (بالای ۶۰ درصد) احداث می‌شوند (شکل ۴-۵). از مزایای این نوع بانکت‌ها می‌توان به پایین‌بودن هزینه‌ی ساخت، کم بودن حجم خاکبرداری و سهولت احداث (استفاده از وسایل ساده، مانند بیل و کلنگ) اشاره نمود.

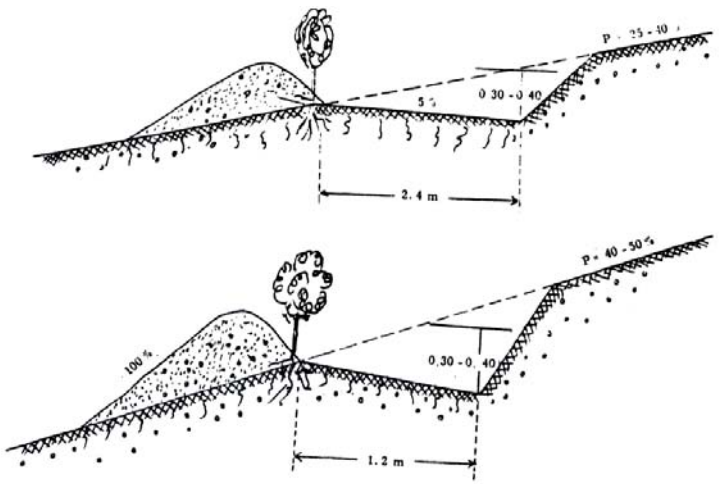


شکل (۴-۵): بانکت (تراس آبراهه‌ای) با نیمرخ وی- شکل

بانکت با مقطع ذوزنقه‌ای (تراس آبراهه‌ای با نیمرخ نرمال)، به‌طور معمول، در شیب‌های کمتر از ۶۰ درصد ساخته می‌شود (۴-۶). بیشتر اوقات، در مناطق مرطوب برای پایداری پشته‌ها داخل بانکت یا روی پشته‌ها را علوفه‌کاری می‌کنند.

1- V-shape banquette or gradin

www.PnuNews.com



شکل (۴-۶): بانکت (تراس آبراهه‌ای) با نیمرخ نرمال

ب) بانکت‌های کم شیب (بانکت غلات)

این نوع بانکت‌ها، به‌طور عمده، در اراضی دارای شیب کمتر از ۱۸ درصد ساخته می‌شوند. در نتیجه، ذخیره‌ی رطوبت خاک در این اراضی، به خوبی انجام می‌شود و عملیات کشت‌وکار در آن‌ها قابل انجام است. بانکت‌های کم شیب، خود به سه دسته‌ی زیر تقسیم می‌گردند:

۱) بانکت با انحنای دوگانه (تراس پایه پهن[1] یا تراس مانگوم[2])

این نوع تراس‌ها، به‌طور معمول، در اراضی دارای شیب کمتر از ۱۲ درصد (۶ تا ۱۲ درصد) ساخته می‌شوند (شکل ۴-۷). مزیت تراس مانگوم در این است که با ایجاد آن، کل منطقه به زیر کشت می‌رود.

1- Broad-base terrace
2- Mangum terrace

www.PnuNews.com

شکل (۴-۷): تراس پایه پهن یا تراس مانگوم

۲) بانکت با انحنای ساده (تراس با شیب پشت تند[1])

این بانکت‌ها بیشتر در اراضی دارای شیب بین ۱۲ تا ۱۸ درصد ساخته می‌شوند (شکل ۴-۸). ساخت بانکت با انحنای ساده، شیب زمین واقع بین دو تراس را کاهش می‌دهد. در این نوع تراس‌ها، بجز قسمت‌های پایین پشته‌ها، بقیه‌ی مزرعه به زیر کشت می‌رود. حالت تقعر موجود در آن‌ها باعث می‌شود که ذخیره‌ی رطوبتی زمین، به‌خوبی صورت گیرد و امکان دیم‌کاری در این تراس‌ها وجود داشته باشد.

1- Streep backslope terrace

www.PnuNews.com

شکل (۴-۸): تراس با شیب پشت تند

۳) بانکت با انحنای سه‌گانه (تراس آبراهه‌ای مسطح)

این نوع بانکت‌ها به‌دلیل آنکه در شیب‌های کمتر از ۶ درصد ساخته می‌شوند، اغلب برای دیم‌کاری غلات کاربرد دارند. این تراس‌ها آب را در سطح خود نگه می‌دارند و میزان روان‌آب را بسیار کاهش می‌دهند.

۴-۱-۲-۲-۳) محاسبات مربوط به بانکت‌ها

فاصله‌ی بین دو بانکت متوالی باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که روان‌آب حاصل از شدیدترین باران در یک دوره‌ی ده‌ساله نتواند در آن فرسایش ایجاد کند و منجر به تخریب بانکت شود. به همین منظور، باید سرعت آستانه‌ی فرسایش را محاسبه نمود که به عوامل مختلفی چون شدت بارندگی، خصوصیات خاک و شیب زمین بستگی دارد. از آنجا که محاسبه‌ی سرعت آستانه‌ی فرسایش مشکل است؛ بنابراین، برای محاسبه‌ی فاصله‌ی بین بانکت‌ها از یک‌سری روابط تجربی استفاده می‌شود که مهم‌ترین این روابط، به شرح زیر می‌باشند:

۱) رابطه‌ی ساکاردی[1]

1- Saccardy

www.PnuNews.com

این معادله در کشور الجزایر به‌دست آمده است که برای شیب‌های کمتر از ۲۵ درصد، فرمول آن به‌صورت زیر می‌باشد:

$$H = [P(۲۶۰ \pm ۱۰)]^{۱/۲}$$

که در آن:

H= فاصله‌ی عمودی بین دو بانکت متوالی (بر حسب متر)

P= شیب زمین (بر حسب متر در متر)

عدد ۲۶۰ ذکرشده در فرمول بالا، ممکن است که بین ۲۵۰ تا ۲۷۰، بسته به عواملی مانند نوع خاک، نفوذپذیری و پوشش گیاهی تغییر کند. در شرایط مناسب، از علامت مثبت (+) و در شرایط نامناسب، از علامت منفی (-) استفاده می‌شود.

این رابطه، برای شیب‌های بیشتر از ۲۵ درصد، به شکل زیر است:

$$H = (۶۴P)^{۱/۲}$$

۲) رابطه‌ی ایرانی

برای ایران، با توجه به متوسط شدت بارندگی ۱/۵ میلی‌متر در دقیقه، رابطه‌ی زیر پیشنهاد شده است:

$$\frac{H^{۲}}{P} = ۱۰۰$$

که در آن:

H= فاصله‌ی عمودی بین دو بانکت متوالی (بر حسب متر)

P= شیب زمین (بر حسب متر در متر)

۳) رابطه‌ی رامسر[1]

این فرمول که توسط سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای اراضی با شیب کم (به‌طور معمول، کمتر از ۲۰ درصد) و به‌صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$H = ۰/۳۰۵\ (ap + b)$$

که در آن:

H= فاصله‌ی عمودی دو بانکت متوالی (بر حسب متر)

p= شیب زمین (بر حسب متر در متر)

1- Ramser

www.PnuNews.com

a= عامل بارندگی

مقدار این عامل برای مناطق با بارندگی کم تا زیاد، به ترتیب، برابر ۰/۶ تا ۰/۳ قابل تغییر است.

b= عامل خاک و پوشش گیاهی

مقدار این عامل، بر حسب فرسایش‌پذیری خاک، سامانه‌های کشت‌وکار و مدیریت خاک، از یک تا دو تغییر می‌کند. عدد یک، برای خاک‌های حساس به فرسایش و شیوه‌ی کشت‌وکار مرسوم کاربرد دارد؛ در حالی که عدد دو، برای خاک‌های مقاوم به فرسایش و روش‌های کشاورزی که بقایای گیاهی را در سطح خاک باقی می‌گذارند، به‌کار می‌رود.

به‌طور کلی، رابطه‌ی بین فاصله‌ی افقی و عمودی بانکت‌ها (تراس‌های آبراهه‌ای)، به‌صورت زیر است:

$$L = \frac{H}{P} \times ۱۰۰$$

که در آن:

L= فاصله‌ی افقی بین دو بانکت متوالی (بر حسب متر)

H= فاصله‌ی عمودی بین دو بانکت متوالی (بر حسب متر)

P= درصد شیب

در تعیین ابعاد بانکت‌ها باید نکات زیر را مورد توجه قرار داد:

۱) ابعاد بانکت‌ها متناسب با عمق خاک در محل مورد نظر باشد.

۲) حجم خاکریزی و خاکبرداری، تقریباً مساوی باشد.

۳) شیب جانبی بانکت‌ها پایدار باشد.

۴) بانکت‌ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند در مواقع ضروری، آب‌های حاصل از بارندگی‌های شدید را از خود عبور دهند.

در صورتی که بخواهید سطح مقطع یک تراس آبراهه‌ای شیب‌دار را محاسبه نمایید؛ می‌توانید از فرمول زیر بهره بگیرید:

$$Q = a.V$$

که در این فرمول:

Q= دبی جریان (بر حسب مترمکعب بر ثانیه)

a= سطح مقطع بانکت (بر حسب مترمربع)

www.PnuNews.com

V= حداکثر سرعت مجاز جریان (بر حسب متر بر ثانیه)

حداکثر سرعت مجاز جریان، بسته به جنس خاک و نفوذپذیری آن، متفاوت می‌باشد (جدول ۴-۵).

جدول (۴-۵): حداکثر سرعت مجاز جریان در بانکت

نوع خاک	سرعت مجاز
شن لومی	۰/۵۳
لوم رسی	۰/۶۱
لوم فشرده	۰/۷۶
رس خیلی‌فشرده	۱/۱۴

سطح مقطع بانکت‌های مسطح، بر اساس حداکثر روان‌آب مورد انتظار در یک دوره‌ی بارندگی ده‌ساله و با توجه به فرمول زیر تعیین می‌گردد:

$$S = L.d$$

که در آن:

S= سطح مقطع بانکت مسطح (بر حسب مترمربع)

L= فاصله‌ی افقی دو تراس متوالی (بر حسب متر)

d= عمق روان‌آب (بر حسب متر)

مثال:

تعدادی بانکت مسطح در یک شیب ۱۸ درصد تعبیه شده‌اند. فاصله‌ی عمودی بین این بانکت‌ها ۵ متر می‌باشد. در صورتی که حداکثر عمق آبدوی، ۱۲ سانتی‌متر باشد؛ سطح مقطع بانکت‌ها را محاسبه نمایید؟

حل:

ابتدا باید فاصله‌ی افقی بانکت‌ها را محاسبه نمود:

$$L = (۵ \div ۱۸) \times ۱۰۰ = ۲۷/۷۸ \text{ (متر)}$$

در نتیجه، سطح مقطع هر بانکت، برابر خواهد بود:

$$S = ۲۷/۷۸ \times ۰/۱۲ = ۳/۳۳ \text{ (مترمربع)}$$

www.PnuNews.com

۴-۲) مبارزه با فرسایش خندقی (گالی)

مبارزه با فرسایش گالی، نسبت به مبارزه با فرسایش ورقه‌ای و شیاری، مشکل‌تر است؛ چراکه گالی، مرحله‌ی پیشرفته‌تری از فرسایش‌های ورقه‌ای و شیاری محسوب می‌گردد. بنابراین، مبارزه با این فرسایش را هم باید در خود گالی و هم در حوزه‌ی آبخیز مربوط به آن اجرا نمود. به‌طور کلی، در مبارزه با فرسایش خندقی از دو روش زیر می‌توان بهره گرفت:

۱) مبارزه‌ی بیولوژیکی

در این روش، با توجه به منطقه و شرایط آب و هوایی، گونه‌های گیاهی مناسب انتخاب و کاشته می‌شوند. توصیه می‌گردد که حتی‌الامکان از گیاهان چندساله‌ی بومی منطقه استفاده شود که ارزش حفاظتی و اقتصادی دارند. همچنین، بایستی توجه داشت که کشت گیاهان بر روی دیواره‌های خندق، بسیار دشوارتر از کف آن می‌باشد؛ چراکه شیب دیواره‌ها خیلی تند است و خاک آن‌ها، بی‌ثبات و فرسایش‌پذیر می‌باشد. در هر حال، گیاهانی مانند اقاقیا، سنجد، زبان گنجشک و ارغوان را می‌توان برای کنترل گالی‌ها استفاده نمود.

به‌طور معمول، برای کنترل گالی از طریق پوشش گیاهی، انجام راهکارهای زیر ضروری است:

الف) شیب دادن دیواره‌های گالی

ب) بذرپاشی و نهال‌کاری در کف و دیواره‌های گالی

پ) تثبیت دیواره‌های گالی از طریق استفاده از هیدرومالچ[1] (که مخلوطی از بذر، کود شیمیایی و آب می‌باشد)

۲) مبارزه‌ی مهندسی

در این شیوه، با احداث تأسیسات ساختمانی و مهندسی، بستر و دیواره‌های خندق کنترل می‌شوند. توصیه می‌گردد که ابتدا با احداث یک کانال انحرافی، روان‌آب حاصل از حوزه‌ی آبخیز گالی به یک مسیر مطمئن هدایت شود. کانال مزبور باید طوری طراحی شود که فاصله‌ی آن از دهانه‌ی گالی، حدود سه تا چهار برابر عمق گالی باشد.

یکی از معمول‌ترین راهکارهای مهندسی در مبارزه با فرسایش گالی، ایجاد بند (سد) می‌باشد. به‌منظور کاهش هزینه‌ها باید سعی نمود که تا حد امکان از مواد موجود در محل برای ساخت بند استفاده شود. همچنین، بایستی توجه داشت که بند اصلی، در قسمت پایین‌دست

1- Hydro-mulching

www.PnuNews.com

خندق ایجاد گردد.

۴-۲-۱) انواع بند

بسته به شرایط محیط و مقدار هزینه، بندها را می‌توان به دو شکل کلی "موقتی" یا "دایمی" احداث نمود.

۴-۲-۱-۱) بندهای موقتی

در مواقعی که شرایط مناسب برای رشد و نمو گیاه در یک محل وجود ندارد و یا منطقه‌ی مورد نظر، از خاک مناسبی برخوردار نمی‌باشد، می‌توان از بندهای موقتی استفاده نمود. به‌طور معمول، بندهای موقتی از مواد ارزان‌قیمت موجود در منطقه (مانند شاخه‌های درختان، چوب، سنگ، خاک و یا مواد دیگر) ساخته می‌شوند. این بندها اغلب متخلخل می‌باشند و تنها به‌منظور کُند کردن سرعت جریان آب و در نتیجه، افزایش رسوب‌گذاری مواد ایجاد می‌گردند. البته بایستی توجه داشت که اگر در ساخت بندهای موقتی از مصالح ساختمانی استفاده شود؛ در این‌صورت، دیگر متخلخل نمی‌باشند و در نتیجه، بار وارده به بند در اثر فشار آب، زیاد خواهد بود. بنابراین، باید در ساخت آن‌ها دقت نمود که از استحکام کافی برخوردار باشند.

بر حسب اینکه در ساخت بندهای موقتی، از چه موادی استفاده می‌شود، این بندها را به انواع مختلف تقسیم نموده‌اند که در ادامه‌ی مطالب این فصل، به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌گردد.

۴-۲-۱-۱-۱) بندهای چَپَری[1]

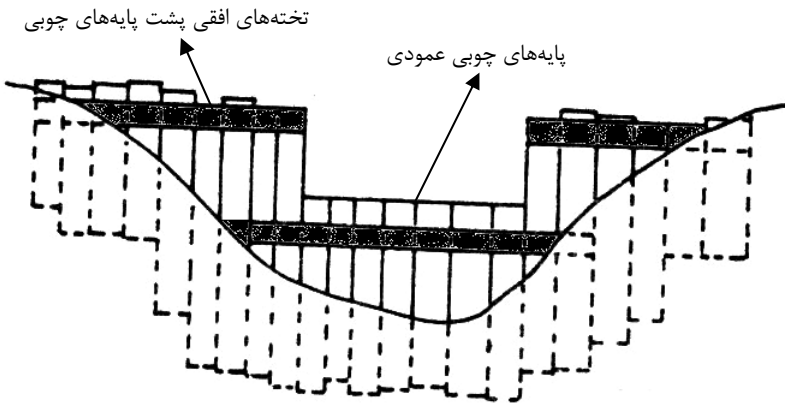
این بندها برای آبراهه‌های کوچکی کاربرد دارند که سطح حوزه‌ی بالادست آن‌ها کم باشد. به عبارت دیگر، بندهای چپری در مواردی استفاده می‌شوند که طول آبراهه یا کانال خندق، کمتر از ۱۰۰ متر و مساحت حوزه‌ی بالادست محل بند، کمتر از یک هکتار باشد. همچنین، جنس مصالح بستر این بندها باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که امکان فروبردن پایه‌های چوبی در زمین وجود داشته باشد.

1- Brush wood dams

www.PnuNews.com

۴-۲-۱-۱-۲) بندهای چوبی[1]

این بندها از پایه‌های چوبی و الوارهایی که در بین پایه‌ها قرار می‌گیرند، ساخته می‌شوند. به‌طور معمول، بندهای چوبی برای آبراهه‌ها و خندق‌هایی به‌کار می‌روند که طول کانال آن‌ها کمتر از ۱۰۰ متر و سطح حوزه‌ی بالادست، کمتر از دو هکتار است. از طرفی، جنس بستر این بندها بایستی امکان فروبردن پایه‌های چوبی را داشته باشد. البته، استحکام این بندها را می‌توان با پیچ کردن یا متصل کردن چند تخته‌ی افقی به پشت تیرهای عمودی افزایش داد (شکل ۴-۹).



شکل (۴-۹): نمای کلی یک بند چوبی و تخته‌های افقی پشت پایه‌ها

۴-۲-۱-۱-۳) بندهای خشکه‌چین[2]

این بندها یکی از معمول‌ترین بندهای اصلاحی هستند که برای آبراهه‌ها و خندق‌های کوچک با مساحت حوزه‌ی آبخیز کمتر از چهار هکتار و شیب آبراهه‌ی کمتر از ۲۰ درصد ساخته می‌شوند. به‌طور معمول، بندهای خشکه‌چین را با مقطع ذوزنقه‌ای می‌سازند و حداکثر ارتفاع این بندها از محل پی، دو متر می‌باشد. شیب شیروانی پایین‌دست این بندها نیز حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد لحاظ می‌شود.

1- Log dams
2- Boulder check dams

www.PnuNews.com

۴-۲-۱-۱-۴) بندهای سنگ‌چین ملات‌دار

این بندها با سنگ و ملات سیمان ساخته می‌شوند و به‌طور معمول، برای مهار سیل و یا ایجاد یک نقطه‌ی ثابت و مستحکم در کانال خندق ساخته می‌شوند. بندهای مزبور، در خندق‌هایی با طول کمتر از ۱۰۰۰ متر و سطح حوزه‌ی کمتر از ۲۰ هکتار کاربرد دارند. از آنجا که هزینه‌ی احداث این بندها زیاد می‌باشد؛ به تعداد زیاد ساخته نمی‌شوند. این سدها با ارتفاع حداکثر شش متر ساخته می‌شوند. بستر محل احداث آن‌ها باید مقاومت کافی در مقابل نشست و لغزش را داشته باشد.

۴-۲-۱-۱-۵) بندهای گابیونی[1]

این بندها نیز به‌عنوان سازه‌های کاهش شیب با هدف مهار رسوب کاربرد دارند. منظور از گابیون، جعبه و یا سبدهایی به شکل مکعب مستطیل است که از تور سیمی به قطر سه تا چهار میلی‌متر ساخته می‌شوند. به‌طور معمول، ابعاد این جعبه‌های توری، "۲ × ۰/۷۵" متر و ضخامت آن‌ها ۰/۵ متر است. برای ساخت گابیون از سیم‌های گالوانیزه استفاده می‌شود که دلیل آن، افزایش دوام در برابر زنگ‌زدگی می‌باشد. در قسمت بالای گابیون، یک درب گذاشته می‌شود که به‌دلیل تعبیه‌ی یک‌سری لولا، قابلیت باز و بسته شدن دارد. برای ساختن بندهای گابیونی، ابتدا هر یک از گابیون‌ها را در عرض سد قرار می‌دهند و از قطعات سنگ پُر می‌کنند و سپس، درب آن‌ها را می‌بندند و با سیم محکم می‌کنند.

۴-۲-۱-۲) بندهای دایمی

هنگامی‌که بندهای موقت برای کنترل خندق کافی نباشند، بایستی از بندهای دایمی استفاده نمود. این بندها اغلب در خندق‌های بزرگ ایجاد می‌شوند و برای ساخت آن‌ها از مصالح ساختمانی و سیمان استفاده می‌گردد. اگرچه هزینه‌ی احداث اینگونه بندها بیشتر از بندهای موقتی است؛ ولی در مقابل، هزینه‌ی حفظ و نگهداری آن‌ها کمتر است. بندهای دایمی را می‌توان به دو شکل زیر ایجاد نمود:

۱) مستقیم

1- Gabion check dams

www.PnuNews.com

۲) قوسی شکل

بندهای مستقیم، به‌صورت یک دیوار نازک مستقیم در عرض خندق ساخته می‌شوند. در این بندها برای کاهش فشار آب واردشده به بند، سوراخ‌هایی در بدنه‌ی بند تعبیه می‌کنند.

بندهای قوسی شکل، به‌صورت یک دیوار نازک قوسی در عرض خندق ساخته می‌شوند. در این بندها انحنای قوس به طرف سراب می‌باشد. از آنجا که قسمت اعظم فشار آب واردشده به بند، به‌طور مستقیم به دیواره‌ها منتقل می‌شود؛ بنابراین، بندهای قوسی شکل را اغلب در خندق‌هایی می‌سازند که دارای دیوارهای محکمی باشند. به‌طور کلی، در حجم مصالح یکسان، استحکام سدهای قوسی شکل، چند برابر بیشتر از استحکام بندهای مستقیم است.

۴-۲-۲) محاسبات مربوط به بندها

به‌طور معمول، برای مبارزه با فرسایش گالی، از چندین بند استفاده می‌شود. بنابراین، از جمله اقدامات اولیه برای ساخت این بندها، محاسبه‌ی فاصله‌ی بین آن‌ها، تعداد و ارتفاع این بندها می‌باشد که در ادامه‌ی مطالب فصل حاضر، به اینگونه موارد پرداخته شده است.

۴-۲-۲-۱) فاصله‌ی بین بندها

فاصله‌ی بین بندها به شیب آبراهه (گالی)، شیب حد و ارتفاع مؤثر بند بستگی دارد. این فاصله، از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$S = \frac{H}{(P - i)}$$

که در این معادله:

S= فاصله‌ی بین بندها (بر حسب متر)

H= ارتفاع مؤثر بند (بر حسب متر)

منظور از ارتفاع مؤثر، ارتفاع بند از کف آبراهه تا تاج سرریز آن می‌باشد.

P= شیب آبراهه (بر حسب متر در متر)

i= شیب حد (بر حسب متر در متر)

منظور از شیب حد، شیب رسوباتی است که انتظار می‌رود در بالادست بند تجمع یابند. در عمل، شیب حد را معادل با یک‌سوم شیب طبیعی آبراهه در نظر می‌گیرند.

www.PnuNews.com

۴-۲-۲-۲) تعداد بندها

تعداد بندها در یک خندق را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد:

$$N = L\frac{(P - i)}{H}$$

که در این رابطه:

N= تعداد بندها

L= طول خندق (بر حسب متر)

P= شیب آبراهه (بر حسب متر در متر)

i= شیب حد (بر حسب متر در متر)

H= ارتفاع مؤثر بند (بر حسب متر)

۴-۲-۲-۳) ارتفاع بندها

اهمیت ارتفاع مؤثر بندها در مقدار حجم رسوب جمع‌شده در پشت بند می‌باشد. به‌طور معمول، ارتفاع بندهایی که برای کنترل خندق ساخته می‌شوند، کم است و از سه تا چهار متر، بیشتر تجاوز نمی‌کند. در هر حال، بلندی یا کوتاهی ارتفاع بندها بسته به هدف مطالعه می‌تواند طراحی شود. اگر هدف از ایجاد بند، کنترل سریع فرسایش خندقی باشد؛ بهتر است که از بندهای کوتاه استفاده نمود و در صورتی که هدف، جمع‌آوری رسوبات باشد؛ باید از بندهای بلند بهره گرفت. به‌طور کلی، بندهای کوتاه و به تعداد زیاد، مناسب‌تر از یک بند بلند می‌باشند؛ زیرا هزینه‌ی ساخت آن‌ها کمتر است.

مثال:

به‌منظور کنترل یک گالی به طول ۳۰۰ متر و شیب ۹ درصد، تعدادی بند به ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر طراحی شده‌اند. فاصله‌ی بین این بندها و تعداد دقیق آن‌ها را محاسبه نمایید.

حل:

در صورتی که شیب حد این گالی را معادل با یک‌سوم شیب طبیعی آن فرض کنیم؛ آنگاه مقدار آن، برابر با ۳ درصد خواهد بود. بنابراین، فاصله‌ی بین بندها برابر خواهد بود با:

$$S = ۰/۹ \div (۰/۰۹ - ۰/۰۳) = ۱۵ \text{ (متر)}$$

www.PnuNews.com

تعداد بندها نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$N = ۳۰۰ \times ((۰/۰۹-۰/۰۳) \div ۰/۹) = ۲۰$$

۴-۳) مبارزه با فرسایش کنار رودخانه‌ای (بالارونده)

این نوع فرسایش، باعث می‌شود که زمین‌های اطراف رودخانه‌ها از بین بروند و سطح زیر کشت آن‌ها کاهش یابند. بنابراین، مبارزه با فرسایش بالارونده، بایستی در طرح‌های تثبیت بستر رودخانه مد نظر قرار گیرد. به‌طور کلی، در اینگونه طرح‌ها اهداف زیر دنبال می‌گردند:

۱) جلوگیری از فرسایش و تخریب دیواره‌ها و بستر رودخانه‌ها و به خطر افتادن اراضی حاشیه‌ی رودخانه‌ها

۲) جلوگیری از تخریب تأسیسات آبی و شبکه‌ی بهره‌برداری از رودخانه‌ها

۳) کنترل سیلاب و کاهش خطر سیل‌گرفتگی اراضی دشت سیلابی رودخانه‌ها

عامل اصلی فرسایش کنار رودخانه‌ای، تماس مستقیم جریان آب با دیواره‌ها و شسته شدن پای دیواره‌ها است. بنابراین، اساس مبارزه با فرسایش کنار رودخانه‌ای، بر پایه‌ی سه راهکار زیر استوار می‌باشد:

۱) کم کردن سرعت آب (به‌منظور کاهش قدرت تخریب آن)

۲) جلوگیری از پیچ‌خوردگی[1] و سینوسی شدن مسیر آب

۳) افزودن مقاومت بستر و کناره‌های رودخانه

برای تثبیت کناره‌های رودخانه، روش‌های متفاوتی وجود دارند که انتخاب این روش‌ها به عواملی چون محل اجرای پروژه، فاصله و مقدار دسترسی به مصالح مورد نیاز، مقدار بودجه‌ی اختصاص‌یافته، درجه‌ی حفاظت مورد نیاز و خصوصیات هیدرولیکی و مرفولوژیکی رودخانه‌ی مورد نظر بستگی دارد. در هر حال، تثبیت دیواره‌های رودخانه به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام‌پذیر می‌باشد.

1- Meandering

www.PnuNews.com

۴-۳-۱) تثبیت کناره‌های رودخانه به روش مستقیم

این روش، از طریق ایجاد پوشش بدنه و با استفاده از مصالح گوناگون انجام می‌شود. در واقع، پوشش‌های بدنه بر روی کناره‌های فرسایش‌پذیر رودخانه و به موازات جریان آب احداث می‌گردند تا با ایجاد دیواره‌ای با شیب جانبی ملایم، از فرسایش بالارونده جلوگیری نمایند.

روش‌های متداولی در دنیا برای تثبیت مستقیم دیواره‌های رودخانه‌ها وجود دارند که برخی از معمول‌ترین آن‌ها عبارتند از:

الف) پوشش بدنه با استفاده از گیاهان مختلف

ب) پوشش بدنه‌ی سنگ‌ریزه‌ای[1]

پ) پوشش بدنه با روکش تورسنگی (گابیونی)

ت) پوشش بدنه با کیسه‌های محتوی مخلوط سیمان و ماسه

ث) پوشش بدنه با لاستیک‌های فرسوده

ج) پوشش بدنه با مخلوط خاک و سیمان

بعضی از سازه‌های اشاره‌شده در بالا، نسبت به برخی دیگر، از انعطاف‌پذیری بالاتری برخوردار هستند. حفاظت دیواره‌های رودخانه با پوشش گیاهی و یا روکش سنگ‌ریزه‌ای، نمونه-هایی از سازه‌های انعطاف‌پذیر می‌باشند؛ در حالی که پوشش بدنه با مخلوط خاک و سیمان، یک سازه‌ی سخت و صُلب (انعطاف‌ناپذیر) محسوب می‌گردد. به‌طور کلی، برای حفاظت دیواره‌های رودخانه، سازه‌های انعطاف‌پذیر، نسبت به سازه‌های انعطاف‌ناپذیر، برتری دارند؛ چراکه دیواره‌های رودخانه، به‌طور طبیعی، بر اثر نیروی تراوش آب و پدیده‌ی زیرشویی رودخانه، نشست‌های ناهمگون می‌کنند و در این‌صورت، یک سازه‌ی سخت و صُلب، به‌سهولت، دچار ترک‌خوردگی می‌شود یا بخش‌هایی از آن تخریب می‌گردد و سرانجام منجر به گسیختگی کل سازه و تشدید روند تخریبی دیواره خواهد شد. این در حالی است که سازه‌های انعطاف‌پذیر، نسبت به تغییرات مزبور، قابلیت تنظیم (جابجایی) و تحکیم دارند و مرمت و بازسازی مجدد آن‌ها نیز امکان‌پذیر است.

1- Riprap

www.PnuNews.com

۴-۳-۲) تثبیت کناره‌های رودخانه به روش غیرمستقیم

این‌کار از طریق احداث انواع آب‌شکن (اپی)[1] و یا ایجاد یک‌سری حصار[2] در بخش‌های فرسایش‌پذیر دیواره‌ی رودخانه‌ها انجام می‌گیرد.

۴-۳-۲-۱) آب‌شکن

آب‌شکن‌ها سازه‌هایی می‌باشند که به‌طور متوالی و به‌صورت عمود یا مایل بر دیواره‌ی خارجی پیچ‌های رودخانه در قسمت‌های فرسایش‌پذیر دیواره‌ی رودخانه قرار می‌گیرند. در واقع، احداث سازه‌های آب‌شکن به‌صورت متوالی و با فاصله‌ی مشخصی از همدیگر، باعث می‌شود تا علاوه بر اصلاح الگوی جریان رودخانه و جلوگیری از فرسایش دیواره‌های آن، نوعی گرداب افقی در بین آب‌شکن‌ها ایجاد گردد. این گرداب، به‌تدریج باعث رسوب‌گذاری مواد در بین آب‌شکن‌ها می‌شود و در نتیجه، ساحل جدیدی بین آب‌شکن‌ها و در جلوی ساحل قبلی رودخانه ایجاد خواهد شد که بدین‌ترتیب با دور کردن بستر اصلی رودخانه از ساحل قبلی خود، اهداف احداث آب‌شکن برآورده خواهد گردید.

جنس آب‌شکن‌ها از مصالح و مواد ساختمانی مختلف می‌باشد که برخی از مهم‌ترین انواع آن‌ها عبارتند از:

۱) آب‌شکن سنگ‌ریزه‌ای
۲) آب‌شکن فلزی
۳) آب‌شکن چوبی با سرشاخه‌ی درختان
۴) آب‌شکن تورسنگی (گابیونی)
۵) آب‌شکن شمع فلزی

به‌طور کلی، انتخاب نوع آب‌شکن به قابل دسترس بودن مصالح، عمق رودخانه و سهولت شرایط اجرای کار در محل مربوطه بستگی دارد. از طرفی، آب‌شکن‌ها را طوری می‌سازند که نسبت به دیواره‌ی رودخانه، زاویه ایجاد کند. بنابراین، بر حسب زاویه‌ای که آب‌شکن با دیواره‌ی رودخانه تشکیل می‌دهد، آن‌ها را به سه گروه مختلف طبقه‌بندی نموده‌اند (شکل ۴-۱۰):

۱) آب‌شکن‌های برگردان: این آب‌شکن‌ها از زاویه‌ای منفرجه (باز) نسبت به جریان آب

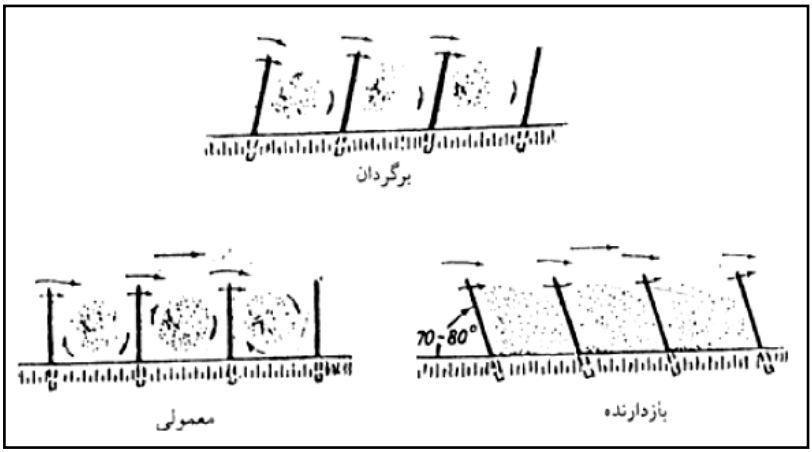
1- Epi or retard
2- Fence

www.PnuNews.com

برخوردار می‌باشند و در نتیجه، مسیر آب را به وسط رودخانه منحرف می‌کنند.

۲) آب‌شکن‌های معمولی: این آب‌شکن‌ها، به‌طور معمول، عمود بر دیواره‌ی رودخانه احداث می‌شوند و به همین دلیل، برخی از افراد، آن‌ها را آب‌شکن‌های عمودی نامیده‌اند.

۳) آب‌شکن‌های بازدارنده: این آب‌شکن‌ها از زاویه‌ای حاده (حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه) نسبت به جریان آب برخوردار می‌باشند که هدف اصلی از ساخت اینگونه آب‌شکن‌ها، جمع‌آوری رسوبات است.



شکل (۴-۱۰): انواع آب‌شکن بر اساس زاویه‌ی آب‌شکن با دیواره‌ی رودخانه

فاصله‌ی بین آب‌شکن‌ها به عواملی چون سرعت آب، طول آب‌شکن، مسیر انعکاس آب و میزان انحنای مسیر رودخانه بستگی دارد. به‌طور تجربی، فاصله‌ی بین آب‌شکن‌ها را حدود دو تا سه برابر طول آن‌ها در نظر می‌گیرند. البته در رودخانه‌های کوچک، فاصله‌ی بین آب‌شکن‌ها ممکن است که مساوی عرض رودخانه لحاظ شود که در این‌صورت، طول آب‌شکن‌ها را معادل یک‌چهارم فاصله‌ی بین آن‌ها در نظر می‌گیرند. در هر حال، طول آب‌شکن را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه نمود:

$$L = a\sqrt{Q_{100}}$$

که در آن:

L= طول آب‌شکن (بر حسب متر)

www.PnuNews.com

a= ضریبی است که مقدار آن بین چهار تا پنج متغیر می‌باشد.

$Q_{۱۰۰}$= دبی صدساله‌ی رودخانه (بر حسب مترمکعب در ثانیه)

به‌طور معمول، عرض آب‌شکن را نیز سه تا چهار متر در نظر می‌گیرند. همچنین، ارتفاع آب‌شکن باید به اندازه‌ای باشد که آب‌شکن در داخل آب غوطه‌ور نشود.

افزون بر مطالب گفته‌شده، در ساخت آب‌شکن‌ها باید به موارد زیر توجه داشت:

الف) در طراحی آب‌شکن‌ها باید به مسأله‌ی آب‌شستگی در محل دماغه‌ی آب‌شکن توجه داشت تا از تخریب کل آب‌شکن جلوگیری شود. بنابراین، لازم است که پیِ نسبتاً عمیقی در این قسمت ساخته شود.

ب) به‌منظور جلوگیری از سستی و جابجایی آب‌شکن‌ها که در اثر جذب آب و افزایش حجم ناحیه‌ی زیر آن‌ها اتفاق می‌افتد؛ باید با استفاده از موادی چون شن، ریگ و یا لوله، عمل زهکشی و خروج آب از این ناحیه صورت گیرد.

پ) کاشت درخت و گیاهان تقویت‌کننده بر روی رسوباتی که در فاصله‌ی بین آب‌شکن‌ها تجمع می‌یابند، لازم و ضروری است.

ت) ساخت آب‌شکن، بیشتر برای جاهایی توصیه می‌شود که جریان آب به دیواره‌ی رودخانه برخورد می‌کند و باعث تخریب آن می‌شود.

۴-۳-۲-۲) حصارکشی[1]

حصارکشی یا نرده‌کشی، ایجاد یک دیواره‌ی نفوذپذیر در امتداد قسمت فرسایش‌پذیر کناره‌ی رودخانه با استفاده از مصالحی چون چوب، لوله‌های بتنی، قطعات فلزی و یا تور سیمی می‌باشد که بیشتر برای رودخانه‌های با شیب کم و بار رسوبی زیاد، کاربرد دارد. دیواره‌ی مزبور، با فاصله‌ای از ساحل (کناره‌ی) رودخانه در امتداد طولی مسیر رودخانه مستقر می‌شود. در اثر کاهش سرعت جریان رودخانه، به‌تدریج رسوبات در فاصله‌ی بین نرده‌ها و کناره‌ی رودخانه انباشته می‌شوند و در نتیجه، بخشی از منبع تغذیه‌ی رسوبی رودخانه کنترل می‌گردد تا شرایط مناسبی برای پایداری و تثبیت کناره‌ی رودخانه فراهم آید.

شکل دیگری از فرسایش رودخانه‌ای، فرسایش بستر رودخانه می‌باشد که می‌بایستی با استفاده از سازه‌های تثبیت بستر، آن را مهار کرد. برای حفاظت و تثبیت بستر رودخانه، شیوه‌

1- Fencing

www.PnuNews.com

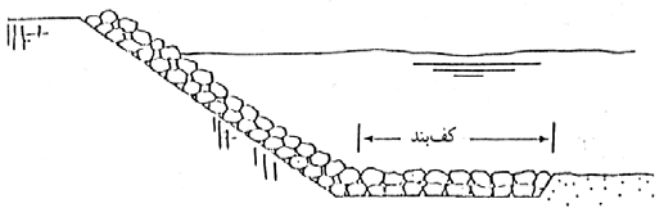
های زیر پیشنهاد گردیده‌اند:

۱) تثبیت بستر به روش کاهش شیب طولی رودخانه

۲) تثبیت بستر به روش سنگ‌فرش (خشکه‌چینی، سنگ، سیمان و یا گابیون)

یکی از راه‌های مقابله با فرسایش بستر، به‌ویژه در رودخانه‌های پُرشیب کوهستانی، تثبیت بستر به روش کاهش شیب طولی رودخانه می‌باشد که این‌کار با ایجاد تأسیساتی مانند شیب-شکن‌ها و کف‌بندها[1] انجام می‌شود. منظور از کف‌بند، سازه‌ای است که در عرض بستر رودخانه با ارتفاعی در حدود ارتفاع کف طبیعی رودخانه برای حفاظت بستر رودخانه در برابر افزایش سرعت جریان آب و جلوگیری از تخریب آن ساخته می‌شود.

همچنین، در قسمت‌هایی از بستر رودخانه که خاک آن سست می‌باشد و یا به عبارتی، از مارن و آهک تشکیل شده است؛ می‌توان با سنگ‌فرش کردن کف بستر رودخانه، از کنده شدن آن جلوگیری نمود. شکل ۴-۱۱، چگونگی سنگ‌فرش نمودن دیواره و بستر رودخانه را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۱): چگونگی سنگ‌فرش نمودن دیواره‌ی رودخانه و ایجاد کف‌بند

۴-۴) مبارزه با ریزش کناره‌ها و فرسایش توده‌ای

ایجاد ناپایداری و ریزش کناره‌ها، یکی از عوامل مؤثر در تولید رسوب توده‌ای، از بین رفتن حاشیه‌ی رودخانه‌ها و اثرهای زیان‌بار زیست‌محیطی است. به‌طور عمده، ناپایداری در کناره‌ها، بر اثر فقر پوشش گیاهی و پراکندگی آن در حواشی رودخانه می‌باشد که پیامد آن، فرسایش شدید دیواره‌ها و بریدگی آن‌ها است. به‌طور کلی، مبارزه با فرسایش توده‌ای، بسیار مشکل است

1- Sills

www.PnuNews.com

و بهترین راهکار، پیشگیری از وقوع این نوع فرسایش می‌باشد. در هر حال، راهکارهای کلی ارایه‌شده برای کنترل فرسایش توده‌ای و مقاوم‌سازی کناره‌ها را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱) استفاده از روش‌های بیولوژیکی (مانند درخت‌کاری و افزایش علوفه‌ها) برای تثبیت شیب‌ها.

گیاهان با توسعه‌ی ریشه‌های خود، باعث پایداری هرچه بیشتر خاک و بهم پیوستگی آن می‌شوند. بنابراین، با مهیا نمودن شرایط رشد و نمو پوشش گیاهی (به‌خصوص در حواشی رودخانه‌ها)، می‌توان از وقوع فرسایش توده‌ای پیشگیری نمود. برای این‌منظور می‌توان از گِراس‌ها (گیاهان علفی) و یا درختانی مانند بید استفاده نمود.

۲) زرهی کردن مسیر کانال رودخانه و جداره‌های آن توسط پوشش‌های سنگی، سیمانی و دیگر مواد مقاوم موجود در محل.

۳) پایداری شیب کناره‌ها توسط پوشش گیاهی و استفاده از تکنیک‌های زیستی برای مقاوم‌سازی این شیب‌ها در برابر فرسایش.

۴) استفاده از سازه‌ی دیوار حایل و محافظ که در طرح‌های مهندسی ایران، از این روش برای کنترل ریزش و فرسایش توده‌ای استفاده می‌شود (شکل ۴-۱۲).

۵) کنترل سطح آب و ثابت نگاه داشتن آن در رودخانه و جلوگیری از نوسانات آب.

۶) جلوگیری از احداث جاده‌ها در مناطق حساس.

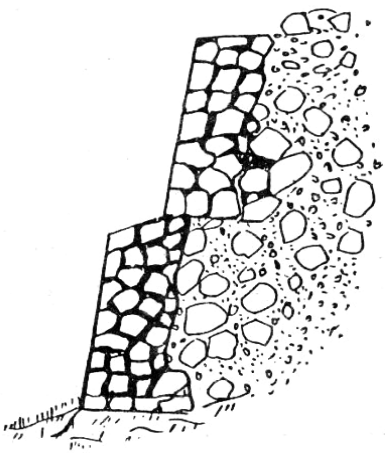
۷) احداث کانال‌های انحرافی به‌منظور خارج ساختن آب از مجرای اصلی و هدایت آن به مسیری موقتی برای جلوگیری از عبور آب از یک منطقه‌ی حساس.

۸) ایجاد زهکش و مدیریت آن در راستای خشک نگه داشتن مناطق مستعد فرسایش.

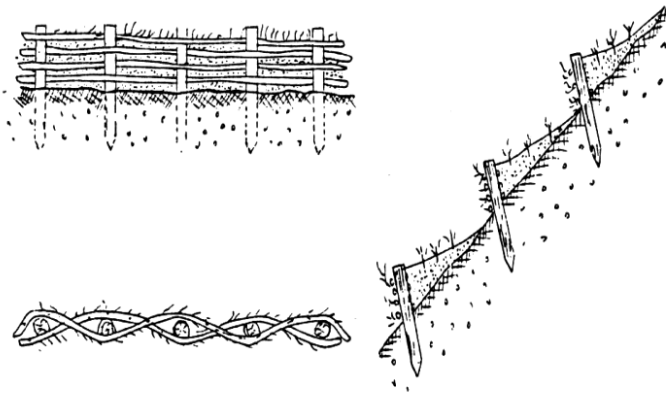
۹) تثبیت شیب‌ها از طریق چپربندی

در این روش، یک‌سری نرده‌ی چوبی را با فواصل مشخص (حدود یک متر) در زمین فرو می‌کنند. البته سعی می‌شود که نرده‌ها از شاخه‌های نرمی ساخته شوند که هنوز سبز هستند و به‌طور کامل، چوبی نشده‌اند. این عمل باعث می‌شود که به مرور، خاک در پشت آن‌ها جمع شود و شیب منطقه به‌صورت تراس‌های سکویی درآید. این تراس‌ها سرانجام زیر پوشش گیاهی قرار می‌گیرند و بدین‌صورت، شیب مربوطه تثبیت می‌گردد (شکل ۴-۱۳).

www.PnuNews.com



شکل (۴-۱۲): چگونگی استفاده از سازه‌ی دیوار حایل و محافظ



شکل (۴-۱۳): چگونگی تثبیت شیب با استفاده از چپربندی

www.PnuNews.com

۴-۵) پرسش

۱- عملیات حفاظت خاک به چند روش انجام می‌شود؟ نام ببرید.

۲- منظور از عملیات غیرمستقیم در حفاظت خاک چیست؟ چند روش از آن را نام ببرید.

۳- منظور از شخم کمینه چیست و اهمیت آن را در حفاظت خاک بیان نمایید.

۴- خصوصیاتی از پوشش گیاهی را نام ببرید که در حفاظت خاک مؤثر می‌باشند و دو مورد را به دلخواه توضیح دهید.

۵- هدف از کشت چند محصولی در حفاظت خاک چیست و اهمیت آن در چه مکان‌هایی است؟

۶- کشت روی خطوط تراز را توضیح دهید و بیان کنید که در چه شرایطی می‌توان از این روش استفاده نمود.

۷- منظور از حفاظت مستقیم خاک چیست و هدف از اجرای آن را بیان نمایید.

۸- سه مورد از تفاوت‌های تراس با بانکت را بنویسید.

۹- تراس پایه پهن یا تراس مانگوم، بیشتر در چه شیب‌هایی توصیه می‌شود؟

۱۰- در زمین‌های با شیب خیلی‌زیاد (بیشتر از ۶۰ درصد)، کدام عملیات حفاظتی را برای جلوگیری از فرسایش خاک پیشنهاد می‌کنید؟ چرا؟

۱۱- با استفاده از فرمول ساکاردی محاسبه نمایید در صورتی که شیب زمین، یکنواخت و برابر با ۲۰ درصد باشد؛ اختلاف ارتفاع بین دو بانکت چند متر است؟

۱۲- حجم خاکبرداری لازم در یک سامانه‌ی تراس‌بندی سکویی قائم را در زمینی به طول ۱۰۰ متر و با شیب ۱۰ درصد محاسبه نمایید، اگر که در آن زمین، پنج ردیف تراس با عرض ۱۵ متر کشیده شده باشند.

۱۳- منظور از تثبیت کناره‌های رودخانه به روش مستقیم چیست؟ چهار روش را نام ببرید.

۱۴- در یک خندق که شیب آن، ۱۲ درصد و شیب حد آن، سه درصد است؛ قصد ایجاد بندهایی به ارتفاع دو متر را داریم. فاصله‌ی بین این بندها را محاسبه نمایید.

۱۵- توضیح دهید که چرا مبارزه با فرسایش توده‌ای، مشکل است؟

www.PnuNews.com

فصل پنجم

فرسایش بادی

اهداف

در پایان فصل، دانشجو با مفاهیم زیر آشنا می‌شود:

۱. اصول و علل ایجاد فرسایش بادی

۲. چگونگی انتقال ذرات توسط باد

۳. نتایج حاصل از عملکرد باد

۴. چگونگی کنترل فرسایش بادی

۵. استفاده از مالچ در حفاظت خاک‌ها و تثبیت تپه‌های شنی

۵-۱) مقدمه

در فصل‌های قبل بیان شد که عمل فرسایش، پدیده‌ای است که در آن، مواد خاکی توسط عواملی از قبیل آب و باد انتقال می‌یابند. هر اندازه که در مناطق پُرباران، فرسایش آبی اهمیت دارد؛ در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز فرسایش بادی عامل اصلی هدررفتن خاک است و آثار نامطلوب آن را می‌توان به صورت کویر و بیابان ملاحظه نمود. در واقع باد، یکی از عوامل بسیار مهم فرسایش می‌باشد که اغلب در مناطق خشک و عاری از موانع طبیعی و پوشش گیاهی، ذرات خاک را بر می‌دارد و با خود حمل می‌کند.

اگرچه در مقیاس جهانی، اهمیت و خطر فرسایش بادی، کمتر از فرسایش آبی است؛ ولی گاهی عظمت آن از فرسایش آبی بیشتر می‌باشد. برای نمونه، طی سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۳۴، باد توانست در ایالات متحده‌ی آمریکا بالغ بر ۳۰۰ میلیون تُن خاک را جابجا کند و روستاها و

www.PnuNews.com

شهرهای زیادی را مدفون نماید. در ایران (به‌ویژه فلات مرکزی) نیز فرسایش بادی، یکی از مسایل مهم به‌شمار می‌رود و تا به حال خسارت‌های زیادی را به بار آورده است. بادهای شدید و طوفانی خوزستان، سیستان و بلوچستان، دشت لوت و کویر، همه‌ساله میلیون‌ها تُن خاک را از بین می‌برند. مواد و ذرات ریز (گرد و غبار) که گاهی در آسمان مناطق خشک ایران، ابرهای زرد تا خاکستری را تولید می‌کنند، نشان بارزی از عمل فرسایش هستند.

۵-۲) اصول و علل ایجاد فرسایش بادی

مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش بادی را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱) خصوصیات خاک

۲) آب و هوا

۳) پوشش گیاهی

۴) پستی و بلندی (توپوگرافی)

۵-۲-۱) خصوصیات خاک

به‌طور کلی، مقدار فرسایش بادی در خاک‌های مختلف، متفاوت است. دلیل این تفاوت را باید در خصوصیاتی چون بافت، جرم مخصوص، ساختمان، ماده‌ی آلی، رطوبت و شکل ذرات خاک جستجو نمود.

۵-۲-۱-۱) بافت و جرم مخصوص خاک

اندازه و جرم مخصوص ذرات، دو عامل مهم در میزان فرسایش‌پذیری هر خاک محسوب می‌گردند. یک ذره‌ی خاک، هنگامی منتقل خواهد شد که اول، به اندازه‌ی کافی سبک و قابل حمل باشد و دوم، به اندازه‌ی کافی درشت باشد تا بخشی از آن در معرض باد قرار گیرد.

ترکیب اندازه و جرم مخصوص هر ذره را با شاخصی به نام "قطر معادل"[1] بیان می‌کنند که از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

1- Equivalent diameter

www.PnuNews.com

$$E_d = \frac{\rho_b . D}{۲/۶۵}$$

که در آن:

E_d= قطر معادل (بر حسب سانتی‌متر)

ρ_b = جرم مخصوص ظاهری خاک (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)

D= قطر ذرات خاک (بر حسب سانتی‌متر)

فرسایش‌پذیرترین ذرات خاک (که وزن مخصوص حقیقی آن‌ها ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد)، آن‌هایی هستند که قطر معادلشان در حدود ۰/۱ میلی‌متر است. ذراتی که قطر معادل آن‌ها کمتر و یا بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر باشد؛ از فرسایش‌پذیری کمتری برخوردار هستند. بنابراین، اگر اندازه‌ی ذرات خاک، از یک حدی کوچک‌تر باشد؛ به‌وسیله‌ی باد منتقل نخواهند شد؛ چراکه این ذرات به‌دلیل برخورداری از سطحی صاف و همچنین نیروی همدوسی بالا، به‌سهولت از یکدیگر جدا نمی‌شوند و در نتیجه، توسط باد جابجا نخواهند شد. از سوی دیگر، اگر اندازه‌ی ذرات خاک به حد کافی بزرگ باشد، چون این ذرات درشت در مقابل فرسایش مقاوم هستند و توانایی حمایت از ذرات کوچک فرسایش‌پذیر را نیز دارا می‌باشند؛ در نتیجه، به‌وسیله‌ی باد منتقل نخواهند گردید.

۵-۲-۱-۲) ساختمان خاک

خاک‌های دارای بافت ریزی که به فرسایش حساس هستند، در صورتی که ساختمان دانه‌ای داشته باشند، به‌طور معمول، مقاوم به فرسایش می‌باشند؛ ولی اگر مواد آلی آن‌ها از بین برود، خاکدانه‌هایشان به ذرات ریزی خرد می‌شوند که قابلیت پراکنده شدن و حمل توسط باد را دارا می‌گردند.

به‌طور کلی، خاک‌های بدون ساختمان و یا دارای ساختمان توده‌ای[1]، در مقایسه با خاک-های دارای ساختمان دانه‌ای، به فرسایش بادی حساس‌تر هستند.

1- Massive structure

www.PnuNews.com

۵-۲-۱-۳) ماده‌ی آلی خاک

با توجه به اینکه مواد آلی خاک، موجب افزایش چسبندگی ذرات و بالا رفتن ظرفیت جذب رطوبت خاک می‌شوند؛ در نتیجه، مقاومت خاک را در برابر نیروی باد افزایش می‌دهند. البته بایستی در نظر داشت که خاک‌های حاوی مقدار زیادی از مواد آلی نیز خاک را مستعد فرسایش بادی می‌سازند، به‌گونه‌ای که خاک‌های آلی مرداب‌ها، به‌علت سبکی زیاد، در برابر فرسایش بادی حساس می‌باشند.

۵-۲-۱-۴) رطوبت خاک

پس از باد، رطوبت خاک، مهم‌ترین عامل در فرسایش بادی محسوب می‌شود. در واقع، خاک‌هایی به فرسایش حساس‌تر هستند که خشک باشند. خاکی که سطح آن رطوبت کافی داشته باشد، منتقل نخواهد شد؛ زیرا ذرات و دانه‌های مرطوب خاک در اثر نیروی چسبندگی ناشی از پوسته‌ی آب بین ذرات، تقریباً پایدار هستند.

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که اگر مقدار آب خاک، در حد رطوبت پژمردگی باشد؛ آنگاه، باد به‌ندرت قادر به برداشت و جابجایی ذرات خواهد بود. بنابراین، فرسایش بادی، زمانی در خاک‌های مرطوب رخ می‌دهد که رطوبت آن‌ها در اثر بادهای گرم و خشک به پایین‌تر از نقطه‌ی پژمردگی برسد.

۵-۲-۱-۵) شکل ذرات

هرچه تعداد سطوح نامنظم ذرات خاک بیشتر باشد، جابجایی آن‌ها به همان نسبت، آسان‌تر خواهد بود. ذرات کُروی به خاطر داشتن شکل آئرودینامیکی، دیرتر به حالت معلق در می‌آیند.

۵-۲-۲) پوشش گیاهی

زمینی که پوشش گیاهی خوبی دارد، تقریباً از فرسایش بادی در امان است. تأثیر پوشش گیاهی در فرسایش بادی بر حسب ارتفاع، تراکم و نوع پوشش تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، پوشش گیاهی به روش‌های مختلفی در فرسایش بادی مؤثر است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱) مانع از برخورد مستقیم باد به سطح خاک می‌گردد (همانند آنچه که پوشش گیاهی از برخورد قطرات باران به سطح خاک جلوگیری می‌کرد).

www.PnuNews.com

۲) ساختمان خاک را اصلاح می‌کند و با اصلاح آن، فرسایش بادی محدود می‌گردد.

۳) با افزایش مواد آلی به خاک، سبب به‌وجود آمدن ساختمان خوب و در نتیجه، کاهش فرسایش بادی می‌شود.

۴) جلوی حرکت ذرات انتقال‌یافته توسط باد را می‌گیرد و آن‌ها را در پشت خود نگه می‌دارد.

به‌طور کلی، مهم‌ترین نقش پوشش گیاهی، این است که سرعت باد را در نزدیکی سطح خاک کاهش می‌دهد.

۵-۲-۳) پستی و بلندی (توپوگرافی)

پستی و بلندی، فرسایش بادی را محدود می‌سازد؛ زیرا سرعت باد به‌علت برخورد با ارتفاعات کاهش می‌یابد. بنابراین، زمین‌های مسطح، همواره بیشتر از اراضی دارای پستی و بلندی، فرسوده خواهند شد.

۵-۲-۴) آب و هوا

مهم‌ترین عوامل آب و هوایی که در فرسایش خاک تأثیر دارند، عبارتند از:

۱) بارندگی

۲) درجه‌ی حرارت

۳) باد

۵-۲-۴-۱) بارندگی

مقدار، شدت و توزیع بارندگی، در فرسایش بادی مؤثر است. به‌طور کلی، مناطق دارای بارندگی سالانه‌ی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر و یا دارای فصل خشک طولانی، بیشتر مستعد فرسایش بادی می‌باشند. چون توزیع بارندگی بر میزان رطوبت خاک اثرگذار است، بنابراین در فرسایش بادی تأثیر دارد. خیس و خشک شدن متناوب زمین، سبب خرد شدن پوسته‌ی سطحی زمین و کلوخه‌های موجود در آن می‌شود و در نتیجه، خاک را در مقابل فرسایش بادی مستعد می‌سازد.

www.PnuNews.com

۵-۲-۴-۲) درجه‌ی حرارت

از آنجا که با افزایش دما، میزان تبخیر از سطح خاک بیشتر می‌شود و به تبع آن، رطوبت خاک کاهش می‌یابد؛ بنابراین، با افزایش درجه‌ی حرارت، حساسیت خاک به فرسایش، بیشتر می‌گردد.

۵-۲-۴-۳) باد

نقش باد در ایجاد فرسایش، از دو جنبه دارای اهمیت است:

الف) با افزایش سرعت باد (همانند افزایش دما)، میزان تبخیر زیادتر می‌شود و در نتیجه، پس از کاهش رطوبت خاک، آن را مستعد فرسایش بادی می‌سازد.

ب) عامل اصلی انتقال ذرات خاک می‌باشد.

سرعت و جهت باد از مهم‌ترین خصوصیات باد می‌باشند که در فرسایش بادی مؤثر هستند. قدرت فرسایندگی باد، به انرژی جنبشی آن باد بستگی دارد و انرژی جنبشی باد از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$KE = \frac{\rho_a . V^2}{2g}$$

که در آن:

KE= انرژی جنبش باد (بر حسب ژول بر مترمربع بر ثانیه)

ρ_a = جرم مخصوص هوا (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)

V= سرعت باد (بر حسب متر بر ثانیه)

g= شتاب تقل (بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه)

بادهایی با سرعت بزرگ‌تر یا مساوی ۲۰ کیلومتر بر ساعت، فرساینده محسوب می‌شوند.

به‌طور کلی (با توجه به مطالب ارایه‌شده در بندهای بالا)، می‌توان گفت برای اینکه فرسایش بادی در منطقه‌ای فعال باشد، باید شرایط زیر در آن منطقه وجود داشته باشند:

۱) ناحیه‌ی مورد نظر، خشک باشد.

۱) خاک، سست و بدون ساختمان باشد.

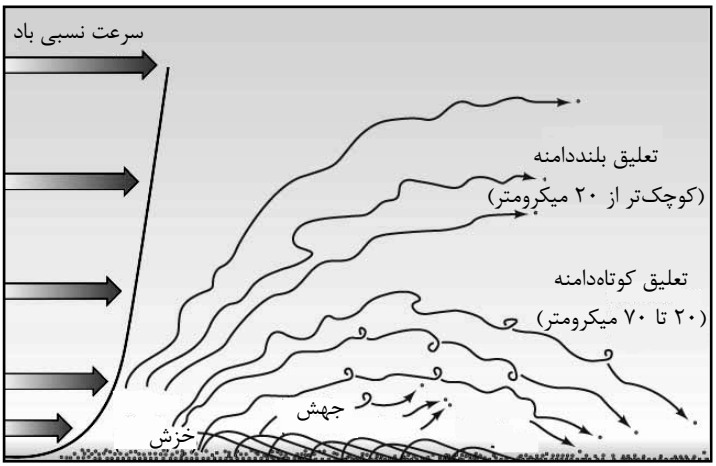
۲) منطقه‌ی مزبور، بدون پوشش گیاهی باشد و یا از پوشش گیاهی پراکنده برخوردار باشد و مواد ریز در سطح خاک وجود داشته باشند.

www.PnuNews.com

۳) منطقه‌ی مورد نظر، وسیع و عاری از پستی و بلندی باشد.
۴) قدرت و حاکمیت باد در منطقه به حدی باشد که بتواند ذرات خاک را به حرکت درآورد.

۵-۳) نحوه‌ی انتقال ذرات خاک

به‌طور معمول، انتقال ذرات خاک توسط باد، بر حسب ابعاد آن‌ها، به شیوه‌ی کاملاً متمایز و به‌صورت معلق[1]، جهشی[2] و خزشی[3] انجام می‌گیرد (شکل ۵-۱).



شکل (۵-۱): نحوه‌ی انتقال ذرات خاک توسط باد

۵-۳-۱) معلق

به‌طور معمول، این نوع حرکت در ذرات خیلی‌ریز (قطر متوسط کمتر از ۰/۱ میلی‌متر) رخ می‌دهد. این ذرات، پس از بلند شدن توسط باد، ممکن است که برای یک مدت زیاد به حالت

1- Suspension
2- Saltation
3- Creeping

www.PnuNews.com

تعلیق باقی بمانند و تا مسافت‌های طولانی حمل گردند (تعلیق بلنددامنه) و یا اینکه پس از طی یک مسافت کم و با کاهش سرعت باد رسوب کنند (تعلیق کوتاه‌دامنه) (شکل ۵-۱).

۵-۳-۲) جهشی

در این حرکت، ذراتی از خاک که قطر متوسط آن‌ها بین ۰/۰۵ تا ۰/۵ میلی‌متر است با پَرِش‌های کوتاه و بلند منتقل می‌شوند. البته به‌طور معمول، حرکت جهشی در ذراتی با قطر متوسط ۰/۱ تا ۰/۱۵ میلی‌متر انجام می‌گیرد.

در اثر حرکت جهشی، ابتدا ذرات به‌طور تقریباً عمودی تا چند سانتی‌متر به هوا بلند می‌شوند و پس از رسیدن به بالاترین نقطه‌ی صعود خود، شروع به سقوط می‌کنند؛ لیکن در اثر نیروی باد به حرکت جانبی خود نیز ادامه می‌دهند تا اینکه بالاخره با انرژی زیادی به خاک برخورد می‌کنند.

ذراتی که به‌صورت جهشی حرکت می‌کنند، پس از برخورد به سطح خاک، یا ذرات دیگری را به هوا پرتاب می‌کنند و یا کلوخ‌ها و سطح خاک را خراش می‌دهند. اگر این خراشیدگی شدید باشد، می‌تواند کلوخ‌ها را خرد کند و به ذرات کوچک‌تر (اما با قابلیت فرسایش بیشتر) تبدیل نماید.

۵-۳-۳) خزشی

این نوع حرکت، عبارت از سُر خوردن یا غلطیدن ذرات درشت‌تر بر روی سطح زمین می‌باشد. در واقع، به‌علت سنگینی این ذرات، باد نمی‌تواند آن‌ها را از جا بلند کند. به هر حال، علاوه بر فشار باد، برخورد ذرات دیگر به این ذرات (برای نمونه، ذرات جهش‌یافته) می‌تواند در خزش آن‌ها مؤثر باشد. قطر متوسط ذراتی که به‌صورت خزشی انتقال می‌یابند، بین ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر متغیر می‌باشد.

مقدار خاک انتقال‌یافته به‌وسیله‌ی سه نوع حرکت گفته‌شده، متفاوت است. چپیل[1] (۱۹۴۵) با ایجاد تونل‌های بادی مختلف، نشان داد که بیشترین مقدار مواد انتقالی که بین ۵۵ تا ۷۲ درصد کل مواد جابجاشده توسط باد می‌باشد، مربوط به ذراتی است که به‌صورت جهشی منتقل

1- Chepil

www.PnuNews.com

می‌گردند. حرکت معلق ذرات در رده‌ی دوم قرار دارد که مقدار آن، بین ۳ تا ۳۸ درصد کل مواد جابجاشده توسط باد می‌باشد. در نهایت، حدود ۷ تا ۲۵ درصد کل مواد جابجاشده توسط باد نیز در سطح خاک می‌خزند. به عبارت دیگر، قسمت عمده‌ی مواد انتقال‌یافته توسط باد، در نزدیکی سطح زمین حرکت می‌کنند. نکته‌ی قابل توجه دیگر، آن است که هرچند مقدار مواد حمل‌شده به‌صورت معلق، کمتر از حالت جهشی است؛ لیکن از آنجا که مواد معلق، حاوی رس و هوموس حاصلخیز هستند، انتقال این مواد از درجه‌ی اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشد.

۵-۴) نتایج حاصل از عملکرد باد

به‌طور کلی، نتایج حاصل از عملکرد باد در یک منطقه را می‌توان در دو بخش زیر طبقه-بندی نمود:

۱) شکل‌های اراضی[1] فرسایشی برجا مانده

۲) شکل‌های اراضی رسوبی ایجادشده

۵-۴-۱) شکل‌های اراضی فرسایشی حاصل از باد

گاهی اوقات، انتقال ذرات مختلف توسط باد، منجر به ایجاد یک‌سری اراضی با شکل خاص در منطقه‌ی فرسایش‌یافته می‌شود که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱) یاردانگ[2]: تپه‌های موازی برجا مانده از عملکرد باد در یک منطقه می‌باشند.

۲) کلوت[3]: یک شکل اراضی حاصل از عملکرد مشترک و همزمان باد و آب در یک منطقه می‌باشد که به‌واسطه‌ی مقاومت بیشتر مواد مادری آن، به‌صورت یک‌سری ناهمواری‌های جداگانه و منفرد[4] در ناحیه‌ی مورد نظر باقی مانده است.

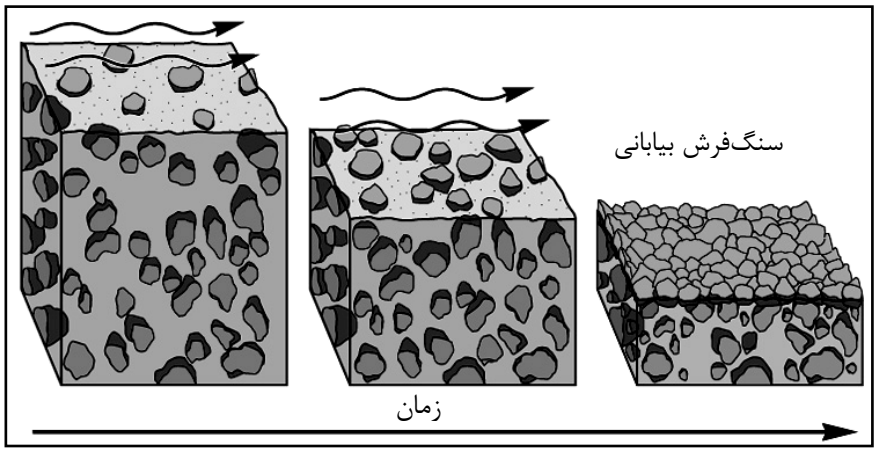
۳) حوضچه‌ی بادرُفته[5]: حفره‌ها یا گودی‌های کوچکی هستند که در اثر فرسایش بادی شدید در یک منطقه ایجاد می‌شوند. گاهی اوقات، آن را "فرسایش چاله‌ای" نیز نامیده‌اند.

1- Landforms
2- Yardang
3- Kalut
4- Inselberg
5- Deflation basin

www.PnuNews.com

۴) سطوح صاف و صیقلی[1]: گاهی اوقات باد، سطح صخره‌ها و برجستگی‌ها را می‌فرساید و آن‌ها را به شکل‌های خاص با سطوح صیقلی و هموار در می‌آورد. البته باد به تنهایی نمی‌تواند این شکل‌ها را ایجاد کند، بلکه وقتی باد حاوی ذرات شن است قادر به انجام این‌کار می‌باشد.

۵) سنگ‌فرش بیابانی[2]: انتقال ذرات ریزتر و برجا ماندن ذرات درشت‌تر در یک منطقه، ممکن است که به ایجاد یک دشت ریگی[3] منجر گردد (شکل ۵-۲). گاهی اوقات، به‌واسطه‌ی تشکیل اکسیدهای آهن و منگنز در سطح سنگ‌ریزه‌ها و قلوه‌سنگ‌های موجود در این دشت، نوعی جلای خاص به چشم می‌خورد که به آن "جلای بیابانی"[4] گویند.



شکل (۵-۲): چگونگی ایجاد یک سنگ‌فرش بیابانی (دشت ریگی)

1- Ventifacts
2- Desert pavement
3- Reg
4- Desert varnish

www.PnuNews.com

۵-۴-۲) شکل‌های اراضی رسوبی حاصل از باد

با کاهش سرعت باد و یا برخورد ذرات انتقالی به یک‌سری موانع، این ذرات رسوب می‌کنند. برجا ماندن ته‌نشست‌های بادی در یک منطقه، منجر به ایجاد شکل‌های اراضی خاصی می‌گردد که برخی از مهم‌ترین آن‌ها (شکل ۵-۳) به شرح زیر می‌باشند:

۱) تپه‌های شنی (تَلماسه)[1]: انباشته شدن شن‌های روان در یک منطقه، منجر به تشکیل تپه‌های شنی می‌گردد. این تپه‌ها در نقاط مختلف جهان در صحاری و کنار دریاها وجود دارند. با توجه به اینکه سرعت و جهت باد در اغلب مناطق بیابانی تغییر می‌کند، بنابراین شکل فعلی این تپه‌ها حاصل ترکیب خصوصیات باد می‌باشد. انواع مهم شکل تپه‌های شنی عبارتند از:

الف) بارخان[2]: تپه‌های شنی هلالی‌شکلی هستند که دو بازوی آن‌ها در جهت ورش باد قرار می‌گیرند و در نتیجه، می‌توانند جهت باد را به‌خوبی نشان دهند.

ب) تلماسه‌های شلجمی (سهمی)[3]: تپه‌های شنی هلالی‌شکلی هستند که دو بازوی آن‌ها در خلاف جهت ورش باد قرار می‌گیرند. به دیگر سخن، برعکس برخان می‌باشند.

پ) سیف (تلماسه‌های طولی)[4]: تپه‌های شنی طولی و کشیده‌ای هستند که به موازات جهت وزش باد قرار می‌گیرند.

ت) سیلک[5]: این تپه‌ها، از اتصال چند سیف ایجاد می‌شوند و حالت موجی‌شکل دارند.

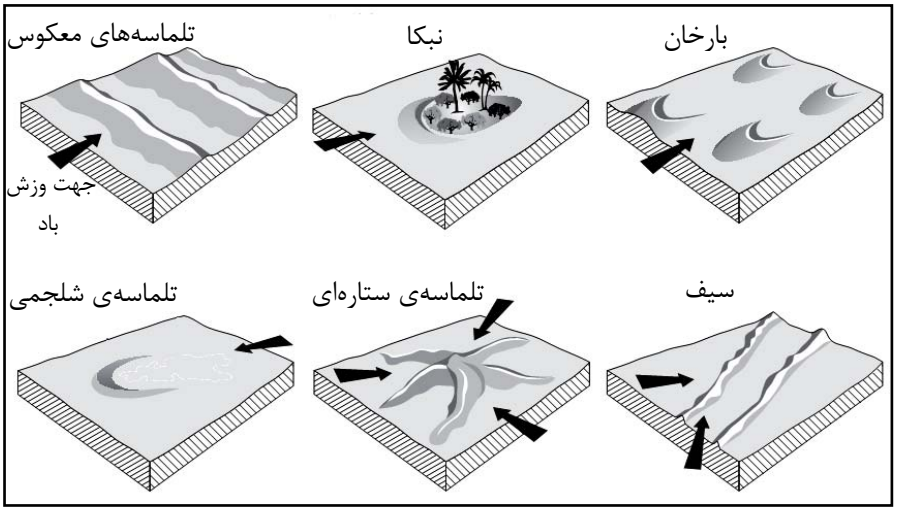
ث) تلماسه‌های معکوس (عرضی)[6]: تپه‌های شنی طولی و کشیده‌ای هستند که به‌صورت عمود بر جهت وزش باد قرار می‌گیرند. این نوع از تپه‌ها بسیار ناپایدار می‌باشند و ممکن است که در اثر وزش طولانی‌مدت باد، به یکی از دیگر شکل‌های تپه‌ای تبدیل شوند.

ج) تلماسه‌های ستاره‌ای[7]: تپه‌هایی به شکل ستاره‌ی دریایی می‌باشند که نشانگر متغیر بودن جهت وزش باد در یک منطقه هستند.

1- Sand dunes
2- Barchan
3- Parabolic dunes
4- Seif or longitudinal dunes
5- Silk
6- Transverse dunes
7- Star duns or stellate

www.PnuNews.com

چ) نِبکا[1]: تپه‌های شنی که در اطراف گیاهان تجمع می‌یابند.



شکل (۵-۳): برخی از انواع مهم تپه‌های شنی

۲) اراضی تلماسه‌ای[2]: از تجمع تپه‌های شنی در یک منطقه، منظری ایجاد می‌شود که شبیه یک دریای شن است. به این منظر، "اِرگ"[3] یا "ورقه‌ها یا پهنه‌های شنی"[4] می‌گویند.

۳) لس[5]: رسوبات لسی، گسترده‌ترین شکل رسوبات بادی هستند. به‌طور معمول، مواد لسی، لسی، غنی از ذراتی در حد و اندازه‌های سیلت می‌باشند و دارای رنگ زرد مایل به خاکستری هستند. این مواد، اغلب هوموس ندارند و به همین دلیل، سست و تُرد می‌باشند و به‌راحتی توسط باد منتقل می‌شوند. در دوران چهارم زمین‌شناسی (کواترنر)، در مراحل خشکی بین یخبندان‌ها، به‌واسطه‌ی فعالیت فرسایش بادی، نهشته‌های قابل ملاحظه‌ای از لس در قسمت-های مختلف کُره‌ی زمین به‌وجود آمده‌اند. به این‌صورت که باد، مواد را از قسمت‌های ذوب‌شده-ی مناطق یخچالی برداشته است و به مناطق دورتر انتقال داده است.

1- Nebkha or coppice dunes
2- Dune fields
3- Erg
4- Sand sheets
5- Loess

www.PnuNews.com

علاوه بر موارد ذکرشده، سایر نتایج حاصل از فرسایش بادی را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۱) خاک‌هایی که توسط باد حمل می‌شوند، می‌توانند راه‌های ارتباطی را قطع کنند؛ به بدنه‌ی اتومبیل‌ها خسارت وارد سازند؛ عمر وسایل موتوری را کم کنند و سبب تخریب شهرها گردند.

۲) در اثر فرسایش بادی، رس و مواد آلی خاک از بین می‌روند و در نتیجه، از حاصلخیزی خاک کاسته می‌شود.

۳) باد ممکن است که مواد با حاصلخیزی کم را بر روی خاک‌های حاصلخیز منطقه قرار دهد و از حاصلخیزی آن‌ها بکاهد.

۴) فرسایش بادی به شیوه‌های مختلف به گیاهان صدمه می‌زند و سبب کاهش تولید می‌گردد.

۵) باد با ایجاد طوفان‌های گرد و غبار، به دستگاه تنفس انسان و حیوان صدمه وارد می‌کند.

۵-۵) کنترل فرسایش بادی

شدت فرسایش بادی با سرعت باد و حساسیت خاک به فرسایش، رابطه‌ی مستقیم و با پوشش گیاهی، رابطه‌ی معکوس دارد. بنابراین، برای کاهش شدت فرسایش بادی، لازم است که حساسیت خاک به فرسایش و سرعت باد را کاهش و از طرفی، پوشش گیاهی را افزایش داد. به‌طور کلی، مبارزه با فرسایش بادی می‌تواند طی سه مرحله انجام پذیرد که عبارتند از:

۱) مبارزه در مرحله‌ی برداشت

۲) مبارزه در مرحله‌ی حمل

۳) مبارزه در مرحله‌ی رسوب

بهترین راهکار مبارزه با فرسایش بادی، در مرحله‌ی اول (برداشت ذرات) نهفته است. مرحله‌ی دوم (انتقال ذرات)، مشکل‌ترین مرحله در کنترل فرسایش بادی محسوب می‌گردد. در ایران، بیشتر سرمایه‌گذاری‌ها در کنترل فرسایش، برای مرحله‌ی سوم (رسوب ذرات) صورت می‌پذیرند. در هر حال، فرسایش بادی را به روش‌های مختلف می‌توان کنترل نمود که در ادامه‌ی مطالب کتاب، به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره گردیده است.

www.PnuNews.com

۵-۵-۱) استفاده‌ی صحیح از زمین

منظور از استفاده‌ی صحیح، آن است که از هر زمینی، متناسب با قابلیت و استعداد آن بهره‌برداری صورت گیرد. به عبارت دیگر، ابتدا باید مشخصات و محدودیت‌های موجود در اراضی را شناخت و سپس با توجه به آن‌ها اقدام به استفاده‌ی بهینه نمود تا ضمن بهره‌وری مناسب و کسب حداکثر درآمد، این اراضی برای نسل آینده نیز مورد حفاظت قرار گیرند و پایدار بمانند.

۵-۵-۲) حفظ رطوبت خاک

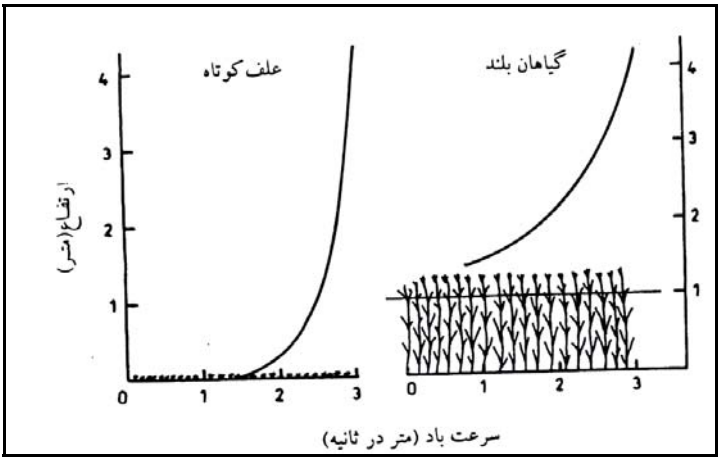
با توجه به اینکه تنها خاک خشک توسط باد منتقل می‌شود؛ بنابراین هر عملی که سبب حفظ رطوبت خاک گردد، برای کنترل فرسایش بادی مفید می‌باشد.

۵-۵-۳) استقرار پوشش گیاهی

شاید بتوان گفت که استقرار یک پوشش گیاهی محافظ در سطح خاک، مؤثرترین روش برای کنترل فرسایش بادی است. اگر زمین همواره دارای پوشش گیاهی باشد، فرسایش بادی ناچیز خواهد بود. این پوشش، علاوه بر اینکه در حفظ رطوبت خاک اهمیت دارد؛ بر کاهش سرعت باد در نزدیکی‌های سطح زمین نیز اثرگذار می‌باشد (شکل ۵-۴).

به‌طور معمول، گیاهانی که نزدیک هم کشت می‌شوند (مانند علف‌ها، گندم و جو)، تأثیرشان در کاهش فرسایش بادی، بیشتر از گیاهان ردیفی است که بین آن‌ها فاصله وجود دارد. برای اینکه تأثیر گیاهان ردیفی در کاهش فرسایش، زیادتر شود؛ بایستی ردیف‌های کشت، عمود بر جهت باد غالب طراحی شوند. همچنین، در هر سامانه‌ی زراعی که زمین برای مدت طولانی به‌صورت بایر رها شود، خطر فرسایش بادی افزایش می‌یابد.

www.PnuNews.com



شکل (۵-۴): چگونگی تغییرات سرعت باد با ارتفاع گیاه

۵-۵-۴) استفاده از بقایای محصول

اگر قرار دادن بقایای گیاهی در خاک، به‌طور صحیح انجام گیرد؛ این عمل می‌تواند فرسایش بادی را در حد فاصل دو کشت متوالی کنترل نماید. هرچه مقدار بقایای محصول، بیشتر باشد؛ تأثیرش در کاهش فرسایش بادی، زیادتر خواهد بود. بنابراین، محصولاتی مانند سویا که بقایای گیاهی کمی را فراهم می‌سازند، نقش اندکی در کاهش فرسایش بادی دارند.

در وزن ثابتی از بقایای محصول، اثر آن‌هایی که ریزتر و انبوه‌تر می‌باشند، بیشتر است؛ زیرا کُلَش ریزبافت، سرعت باد را کم می‌کند و جلوی ذرات خاک در حال جست‌وخیز را می‌گیرد. نقش یک کلش ایستاده در زمین در کاهش سرعت باد، بسیار مؤثرتر از نقش کلش خوابیده یا خردشده و پخش‌شده بر روی سطح زمین است. هرچه ارتفاع گیاه، بیشتر باشد؛ تأثیر آن در کاهش سرعت باد زیادتر خواهد بود.

برای گذاشتن بقایای محصول در سطح زمین، از کولتیواتور پنجه‌غازی استفاده می‌شود. این وسیله، زیر خاک را بهم می‌زند و به این‌صورت، تمامی یا قسمتی از بقایای محصول را در سطح زمین رها می‌سازد.

www.PnuNews.com

۵-۵-۵) ایجاد زبری در سطح خاک

به‌طور معمول، در عملیات زراعی سعی می‌شود که بستر بذر، حتی‌الامکان نرم و صاف باشد؛ ولی اگر چنانچه احتمال وقوع فرسایش بادی وجود داشته باشد، بایستی برعکس این عملیات، عمل نمود. به عبارت دیگر، باید سطح زمین را تا حدی که در جوانه زدن بذر اشکالی پیش نیاورد، زبر و کلوخه‌ای نگه داشت. وجود چنین ناهمواری‌هایی در سطح زمین، موجب کاهش سرعت باد و کنترل فرسایش می‌شوند.

باید در نظر داشت که افزایش زبری، موقعی مؤثرتر خواهد بود که بقایای محصول نیز در سطح خاک باقی بمانند. بنابراین در عمل، برای تهیه‌ی زمین، از وسایلی استفاده می‌شود که هم سطح زمین را زبر کنند و هم پوشش گیاهی را در سطح خاک باقی گذارند. یکی از این ادوات، خیش اسکنه‌ای[1] نام دارد.

۵-۵-۶) انجام شخم اضطراری[2]

شخم اضطراری، عبارت از شخم نمودن نوارهایی از زمین در راستای عمود بر جهت وزش باد می‌باشد. این‌کار به‌منظور ایجاد سطحی ناهموار و کلوخه‌دار انجام می‌گیرد تا بتوان حرکت ذرات سطحی (که به‌صورت جهشی و خزشی انجام می‌شود) را به‌طور موقت، متوقف ساخت. بدیهی است که اگر باد برای مدت طولانی ادامه داشته باشد، حد فاصل پشته‌های ایجادشده، به‌وسیله‌ی ماسه‌های بادی پُر می‌گردد و رأس پشته‌ها توسط باد کنده می‌شود. در نتیجه، پشته‌ها اثر خود را از دست می‌دهند و به یک زمین تقریباً هموار و یکنواخت تبدیل می‌شوند.

به‌منظور انجام شخم اضطراری، در مواردی که فرسایش بادی شدید نمی‌باشد، می‌توان از خیش اسکنه‌ای استفاده نمود؛ لیکن هنگامی که فرسایش بادی شدید است، می‌توان از پشته-سازها بهره گرفت.

1- Chisel plow
2- Emergency tillage

www.PnuNews.com

۵-۵-۷) انجام کشت نواری

در این روش، گیاهان مقاوم به فرسایش (مانند محصولات دانه‌ریز) را به‌طور متناوب، همراه با گیاهان حساس به فرسایش (مانند پنبه، توتون، چغندرقند و غیره)، به‌صورت نوارهایی در راستای عمود بر جهت وزش باد غالب کشت می‌کنند.

دقت داشته باشید که هرچه خاک، فرسایش‌پذیرتر باشد؛ عرض نوارها را بایستی کمتر در نظر گرفت.

۵-۵-۸) احداث بادشکن[1]

بادشکن، مانعی است که به‌طور معمول، عمود بر جهت وزش باد غالب منطقه ساخته می‌شود تا با کاهش انرژی و سرعت باد، فرسایش خاک را کاهش دهد و یا آن را محدود سازد. در واقع، بادشکن باید سرعت باد را تا کمتر از حد آستانه‌ی فرسایش (حداقل سرعت باد که قادر به حمل ذرات خاک می‌باشد) تقلیل دهد.

از مزایای دیگر بادشکن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف) حفاظت از حیوان‌های اهلی و افزایش بازدهی دام‌ها

ب) افزایش تولید فرآورده‌های جنبی (مانند میوه، بذر، هیزم، علوفه و غیره).

پ) تغییر ریزاقلیم‌های[2] محلی و افزایش عملکرد گیاهان زراعی

نقش بادشکن در تغییر ریزاقلیم، از دو جنبه‌ی زیر، قابل بررسی است:

۱) کاهش میزان تبخیر و تعرق و در نتیجه، افزایش رطوبت خاک در قسمت حمایت‌شده

۲) تأثیر در میزان بارندگی (به‌ویژه، وقتی‌که شبکه‌ی بادشکن‌ها وسیع باشد)

اما بادشکن‌ها معایبی نیز دارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

الف) مداخله در استفاده از ماشین‌های کشاورزی

ب) اشغال شدن بخشی از سطح زیرکشت

پ) ایجاد رقابت با گیاهان زراعی و سایه‌اندازی روی آن‌ها

ت) ایجاد پناهگاهی برای گیاهان و حیوانات مضر

1- Wind break

2- Micro-clima

www.PnuNews.com

۵-۵-۸-۱) انواع بادشکن

انواع بادشکن را می‌توان در دو گروه کلی زیر طبقه‌بندی نمود:

۱) بادشکن مصنوعی یا مکانیکی (غیرزنده)

این نوع از بادشکن‌ها شامل دیوارهای چوبی، سنگی، فلزی و یا دیوارهایی از شاخه‌های بریده‌شده از درختان موجود در منطقه، چپر و غیره می‌باشند. به‌طور معمول، احداث بادشکن‌های مصنوعی، هزینه‌های زیادی را به‌همراه دارد. بنابراین، در طراحی آن‌ها تلاش می‌گردد که از مواد اولیه‌ی قابل دسترس و ارزان‌قیمت استفاده شود. اغلب، از این بادشکن‌ها در مواقعی استفاده می‌شود که:

الف) شرایط محیطی، اجازه‌ی رشد پوشش گیاهی را ندهد.

ب) سطح حفاظتی مورد نظر، محدود باشد.

پ) محدودیت زمانی وجود داشته باشد.

۲) بادشکن درختی (زنده)

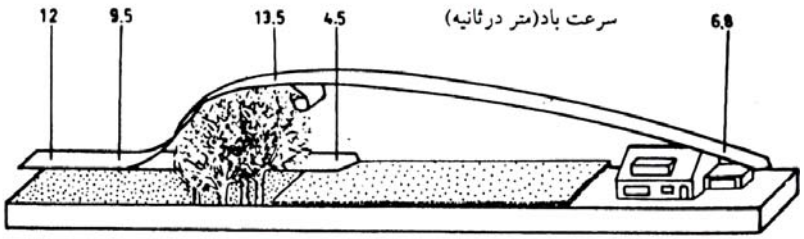
به‌طور معمول، این بادشکن‌ها از یک یا چند ردیف درخت یا درختچه تشکیل گردیده‌اند که عمود بر جهت وزش باد اصلی (غالب) منطقه قرار می‌گیرند. از آنجا که در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب، محدودیت کم‌آبی و رقابت درختان بادشکن با محصولات و درختان دیگر بر سر نور، آب و مواد غذایی وجود ندارد؛ بنابراین، استفاده از بادشکن‌های درختی در این مناطق، عمومیت بیشتری دارد. مهم‌ترین عامل مؤثر در طراحی این نوع بادشکن‌ها، انتخاب درختان و گونه‌های سازگار و مناسب با محیط می‌باشد. هم‌چنین، در طراحی آن‌ها بهتر است که ابتدا درختان را در نهالستان پرورش داد تا ضمن کنترل علف‌های هرز، با آفات درختان نیز مبارزه شود. سپس، این درختان را به منطقه‌ی مورد نظر انتقال داد.

۵-۵-۸-۲) چگونگی کاهش سرعت باد توسط بادشکن

شکل ۵-۵، نشان می‌دهد که سرعت باد، قبل از برخورد به بادشکن و در فاصله‌ای از آن، شروع به کاهش می‌کند و پس از عبور از بادشکن، به‌تدریج سرعت باد مجدداً زیاد می‌شود تا اینکه در فاصله‌ای دور از آن، به سرعت اولیه‌ی خود می‌رسد.

www.PnuNews.com

در مورد یک بادشکن درختی با تراکم متوسط وقتی‌که باد به‌طور عمودی به آن برخورد می‌کند، سرعت باد بین ۶۰ تا ۸۰ درصد در پشت بادشکن کاهش می‌یابد. میزان این کاهش در فاصله‌ی ۲۰ برابری ارتفاع بادشکن، حدود ۲۰ درصد است. این در حالی است که در فاصله‌ی ۳۰ برابری ارتفاع بادشکن، هیچگونه کاهشی وجود ندارد.



شکل (۵-۵): اثر بادشکن در تغییر سرعت باد

۵-۵-۸-۳) مشخصات شبکه‌ی بادشکن

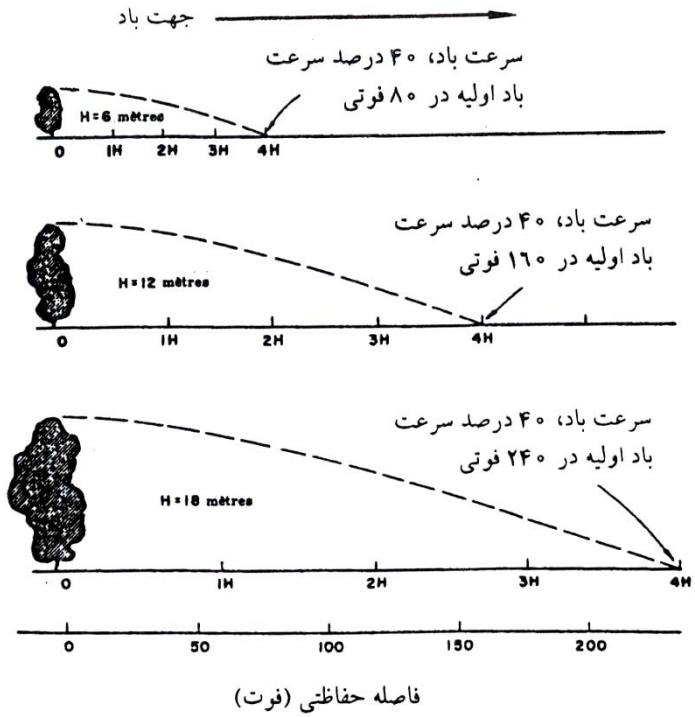
مؤثر بودن بادشکن‌ها در کاهش سرعت باد به عوامل متعددی چون ارتفاع، طول، عرض، تراکم و فاصله‌ی بادشکن‌ها بستگی دارد.

۵-۵-۸-۳-۱) ارتفاع بادشکن

طول منطقه‌ی حفاظت‌شده، متناسب با ارتفاع بادشکن می‌باشد. به عبارت دیگر، هرچه ارتفاع بادشکن بیشتر باشد، طول منطقه‌ی حفاظتی بیشتر خواهد بود. از طرفی، هر قدر سن درخت افزایش یابد؛ به‌طور معمول، ارتفاع آن نیز افزایش می‌یابد.

اغلب، طول منطقه‌ی حفاظت‌شده را بر حسب مضربی از ارتفاع بادشکن (H) بیان می‌کنند. به‌طور کلی، بادشکن‌ها سرعت باد را در جلوی بادشکن تا بیش از ۲۰ برابر ارتفاعشان کاهش می‌دهند. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که میزان کاهش سرعت باد در بادشکن‌های با ارتفاع متفاوت، اما با خصوصیات یکسان، در فاصله‌ی چهار برابری ارتفاع بادشکن (۴H)، یکسان خواهد بود. به دیگر سخن، کمترین سرعت باد، در فاصله‌ی چهار برابری ارتفاع بادشکن ملاحظه شده است (شکل ۵-۶).

www.PnuNews.com



شکل (۵-۶): رابطه‌ی میان ارتفاع بادشکن با فاصله‌ی حفاظتی باد در پشت بادشکن

۵-۵-۸-۳-۲) طول بادشکن

برای پوشش کامل منطقه، طول بادشکن بایستی بیشتر از عرض منطقه‌ی مورد حفاظت باشد. از این رو، در حدود شش برابر ارتفاع بادشکن، به طول آن اضافه می‌کنند؛ لیکن این‌کار به‌دلیل مسأله‌ی مالکیت اراضی مجاور، همواره عملی نمی‌باشد. به همین منظور، در هر طرف بادشکن، بادشکنی عمود بر آن و به طول حدود دو تا سه برابر ارتفاع بادشکن ایجاد می‌کنند.

www.PnuNews.com

۵-۵-۸-۳-۳) عرض (ضخامت) بادشکن

براساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، مشخص شده است که عرض یا ضخامت بادشکن، تأثیری در کاهش سرعت باد ندارد؛ بلکه تراکم بادشکن است که در تقلیل سرعت باد دخالت دارد. با این وجود، در مورد عرض بادشکن‌ها بایستی نکته‌های زیر را در نظر گرفت:

الف) از آنجا که یک ردیف درخت به‌عنوان بادشکن، ممکن است در اثر باد، آسیب ببینند؛ ترجیح داده می‌شود که از چند ردیف درخت، برای احداث بادشکن استفاده گردد. در این حالت، درختان ردیف اول، درختان موجود در در ردیف‌های بعدی را حمایت خواهند کرد و در نتیجه، دوام بادشکن بیشتر خواهد شد.

ب) اگر فقط از یک ردیف درخت، به‌عنوان بادشکن استفاده شود؛ در این‌صورت، چون ارتفاع درختان، تقریباً به یک اندازه است، بنابراین تنها تاج درختان در مقابل باد، مانعی ایجاد خواهد کرد و در قسمت ساقه‌ی درختان، فضای خالی وجود خواهد داشت. ولی در صورت استفاده از چند ردیف درخت، می‌توان با متفاوت گرفتن ارتفاع درختان، پوشش کاملی را در مقابل باد ایجاد نمود. به همین منظور، درختان در زمان‌های متفاوتی کاشته می‌شوند؛ به این ترتیب که ابتدا درختان ردیف اول را می‌کارند و سپس، به‌تدریج، کاشت درختان ردیف‌های بعدی انجام می‌گیرد.

۵-۵-۸-۳-۴) تراکم بادشکن

تراکم بادشکن، بیانگر میزان یا درصد پوشش گیاهی (موانع) در مقابل باد می‌باشد. به‌طور کلی، بادشکن‌ها را می‌توان از نظر میزان تراکم به دو دسته‌ی زیر طبقه‌بندی نمود:

الف) نفوذناپذیر (متراکم)

ب) نفوذپذیر (غیر متراکم)

در بادشکن‌های متراکم، سرعت باد، قبل از بادشکن، به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و بعد از آن نیز تا مسافت کوتاهی، خیلی‌سریع کم می‌شود؛ اما پس از آن فاصله، به سرعت اولیه‌ی خود می‌رسد.

در بادشکن غیر متراکم، سرعت باد قبل از بادشکن، نسبت به بادشکن‌های متراکم، کمتر کاهش می‌یابد و پس از بادشکن نیز سرعت باد به‌تدریج کاهش می‌یابد؛ اما اثر آن تا فاصله‌ی زیادتری وجود خواهد داشت.

www.PnuNews.com

به‌طور کلی، اثر بادشکن متراکم در کاهش سرعت باد، زیاد است؛ ولی این تأثیر، تا فاصله‌ی کوتاهی دوام خواهد داشت. به عبارت دیگر، بادشکن‌های متراکم باعث کاهش بیشتر سرعت باد در نزدیکی بادشکن می‌شوند. در صورتی که اثر بادشکن غیر متراکم در کاهش سرعت باد، کم است؛ ولی این تأثیر تا فاصله‌ی بیشتری پا برجا خواهد بود. بنابراین، در مواردی که به کاهش حداکثر سرعت باد نیاز باشد، از بادشکن‌های متراکم استفاده خواهد شد و در غیر این‌صورت، از بادشکن‌های غیر متراکم استفاده می‌گردد تا احتمال وقوع گِردباد که خطر آن به‌مراتب زیادتر از باد اولیه است، کاهش یابد.

بایستی توجه داشت که تراکم بادشکن‌ها به شرایط اکولوژیکی محیط بستگی دارد. در شرایطی که امکان هر نوع تراکم وجود داشته باشد؛ آنگاه، نوع تراکم بر مبنای هدف تعیین خواهد شد.

در هر حال، تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بادشکن متراکم و یا غیر متراکم، به نسبت "سرعت آستانه‌ی فرسایش به حداکثر سرعت باد" در منطقه‌ی مورد نظر، بستگی دارد. اگر این نسبت، کوچک‌تر یا مساوی ۰/۶ باشد؛ آنگاه باید از بادشکن متراکم استفاده نمود که در این-صورت، فاصله‌ی بادشکن‌ها نباید از ۱۱ برابر ارتفاع آن‌ها بیشتر باشد. اگر این نسبت، بین ۰/۶ تا ۰/۸ باشد؛ از بادشکن غیر متراکم استفاده می‌گردد که در این‌صورت، فاصله‌ی بادشکن‌ها نباید از ۲۱ برابر ارتفاع آن‌ها بیشتر باشد.

نکته‌ی قابل توجه در این راستا، چگونگی محاسبه‌ی حداکثر سرعت باد و سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی است. حداکثر سرعت باد را می‌توان از ایستگاه‌های هواشناسی به‌دست آورد؛ اما برای محاسبه‌ی سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی می‌توان یکی از راهکارهای زیر را مد نظر قرار داد:

الف) استفاده از فرمول:

برای اندازه‌گیری سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی فرمول‌های تجربی متعددی ارایه شده‌اند. یکی از این فرمول‌ها، معادله‌ی ولیکنوف[1] می‌باشد که به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$U_k = ۴۶/۵\sqrt{۱۴d + ۰/۰۰۶}$$

که در آن:

[1] Veliknov

www.PnuNews.com

U_k= سرعت آستانه‌ی فرسایش (بر حسب متر در ثانیه)
D= قطر متوسط ذرات خاک (بر حسب متر)

ب) استفاده از تونل باد:

در این روش، از یک چهارچوب آهنی به ابعاد نیم‌متر در نیم‌متر استفاده می‌شود که به‌وسیله‌ی یک‌سری پیچ به کیسه‌هایی از جنس پُلی‌اتیلن وصل شده است و در روی پایه‌ای ثابت گردیده است. این دستگاه را در راستای عمود بر جهت وزش باد قرار می‌دهند و در نتیجه، باد مواد انتقالی خود را درون آن قرار می‌دهد. زمانی را که دستگاه در جلوی باد قرار می‌گیرد، به‌وسیله‌ی زمان‌سنج (کرنومتر) ثبت می‌کنند. از طرفی، کیسه‌ها که قبل از انجام آزمایش وزن شده‌اند، بعد از آن نیز دوباره وزن می‌شوند. از اختلاف وزن کیسه‌ها در قبل و بعد از انجام آزمایش، وزن مواد جمع‌شده در داخل هر کیسه تعیین می‌گردد.

آزمایش بالا را برای سرعت‌های مختلف باد تکرار می‌کنند و نتایج حاصل را بر روی محورهای x و y موجود در یک دستگاه مختصات منتقل می‌نمایند. سپس، با استفاده از روابط رگرسیونی و تعیین معادله‌ی خط یا منحنی برازش داده‌شده بر داده‌ها، سرعت آستانه‌ی فرسایش را محاسبه می‌کنند.

به‌طور کلی، سرعت آستانه‌ی فرسایش، بسته به جنس خاک تغییر می‌کند. بنابراین، با تعیین سرعت آستانه‌ی فرسایش برای خاک‌های با جنس‌های مختلف (ریزی و درشتی ذرات آن‌ها) می‌توان در هر منطقه با دانستن بافت خاک، سرعت آستانه‌ی فرسایش را تخمین زد.

۵-۵-۸-۳-۵) فاصله‌ی بادشکن‌ها

همانگونه که گفته شد، هر بادشکن تا یک مسافت خاص، سرعت باد را کاهش می‌دهد؛ بنابراین برای حفاظت یک منطقه‌ی بزرگ بایستی از تعدادی بادشکن (شبکه‌ی بادشکن) استفاده نمود.

برای محاسبه‌ی فاصله‌ی بادشکن‌ها نیاز به حداکثر سرعت باد و سرعت آستانه‌ی فرسایش در منطقه‌ی مورد مطالعه است. اگر در منطقه‌ای، سرعت باد، کمتر از حد آستانه‌ی فرسایش باشد؛ نیازی به ایجاد شبکه‌ی بادشکن در آن ناحیه نمی‌باشد. نکته‌ی دیگر در تعیین فاصله‌ی

www.PnuNews.com

بادشکن‌ها، آن است که این فاصله را باید بر اساس ارتفاعی که درختان، پس از یک مدت معین (به‌عنوان مثال، پنج سال آینده) خواهند داشت، محاسبه نمود.

در مورد تعیین فاصله‌ی بین بادشکن‌ها بررسی‌های زیادی انجام گرفته‌اند. وودراف و زینگ[1] (۱۹۲۵) براساس آزمایش‌های تونل باد، به این نتیجه رسیدند که طولی را که یک بادشکن حمایت می‌کند از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$d = ۱۷h\left(\frac{V_m}{V}\right).\cos\theta$$

که در آن:

d= طول حفاظتی بادشکن یا فاصله‌ی بین ردیف‌های بادشکن (بر حسب متر)

h= ارتفاع بادشکن (بر حسب متر)

V_m= سرعت آستانه‌ی فرسایش در ارتفاع ۱۵ متری (بر حسب کیلومتر در ساعت)

V= سرعت باد موجود در ارتفاع ۱۵ متری (بر حسب کیلومتر در ساعت)

θ= زاویه‌ی انحراف جهت باد از خط قائم بر بادشکن (بر حسب درجه)

مثال:

اگر ارتفاع یک بادشکن، ۱۰ متر؛ سرعت آستانه‌ی فرسایش در ارتفاع ۱۵ متری، ۳۰ کیلومتر بر ساعت و سرعت باد موجود در ارتفاع ۱۵ متری، ۴۰ کیلومتر بر ساعت باشد؛ فاصله‌ی بین بادشکن‌ها را محاسبه نمایید (فرض کنید که زاویه‌ی انحراف جهت باد از خط قائم بر بادشکن، ۲۰ درجه باشد).

حل:

$$d = ۱۷ \times ۱۰ \times (۳۰ \div ۴۰) \times \cos۲۰ = ۱۱۹/۸ \text{ (متر)}$$

۵-۵-۹) استفاده از مالچ

در فصل چهارم، به تعریف مالچ و برخی از اثرات آن در حفاظت خاک‌ها اشاره گردید. علاوه بر این، مالچ در کاهش فرسایش خاک، جذب حرارت آفتاب و نگهداری آن در خاک و در نتیجه، کاهش تبادل حرارتی زمین و محیط، نگهداری رطوبت و کاهش تبخیر مؤثر است. بررسی‌ها

1- Woodruff and Zingg

www.PnuNews.com

نشان داده‌اند خاکی که روی آن، مالچی به ضخامت حدود ۲۰۰ میکرون پاشیده شده باشد، حدود چهار برابر بیشتر از زمین شاهد، در مقابل عوامل فرسایش‌زا پایدار است. از طرفی، باید در نظر داشت که مالچ، نباید درجه‌ی حرارت خاک را بیش از حد بالا ببرد؛ زیرا در این‌صورت، سبب فاسد شدن بذر می‌گردد. نتایج برخی دیگر از پژوهش‌ها حاکی از آن است که مالچ‌ها با وجود داشتن خلل و فرج فشرده، قادر می‌باشند که آب را از خود عبور دهند و از تبخیر شدید جلوگیری کنند. بنابراین، در نگهداری رطوبت خاک مؤثر هستند.

به‌طور کلی، مالچ‌ها را می‌توان در دو گروه زیر طبقه‌بندی نمود:

الف) مالچ غیرنفتی (آلی و مصنوعی)

ب) مالچ نفتی

منظور از مالچ‌های غیرنفتی، تمامی مواد یا پوشش‌هایی می‌باشند که به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب و رشد علف‌های هرز به‌کار گرفته می‌شوند تا موجبات حاصلخیزی خاک و در نهایت، کاهش فرسایش بادی را فراهم سازند. از جمله‌ی مالچ‌های غیرنفتی می‌توان به کاه‌وکلش، خاک ارّه، کودهای حیوانی و آلی، پشم و شیشه، پلاستیک و صفحات فلزی اشاره نمود.

مالچ‌های نفتی، مواد یا فرآورده‌های سنگین نفتی حاصل از پالایشگاه‌ها می‌باشند که اغلب به‌منظور جلوگیری از فرسایش خاک، تثبیت شن‌های روان و افزایش محصولات کشاورزی مصرف می‌شوند.

۵-۵-۹-۱) ویژگی‌های مالچ

برخی از مهم‌ترین ویژگی‌هایی را که یک مالچ باید دارا باشد، می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱) مالچ باید در روی خاک، قشر یکنواخت بهم چسبیده‌ای را به‌وجود آورد که مقاوم به باد و باران باشد. در واقع، باید دارای خاصیت الاستیسیته باشد تا باد نتواند آن را به‌صورت پوسته پوسته در آورد.

۲) مالچ نباید مواد غذایی خاک را کاهش دهد.

۳) مالچ، ضمن بی‌ضرر بودن برای گیاهان، باید برای سلامتی انسان، دام و سایر موجودات زنده نیز مضر نباشد.

www.PnuNews.com

۴) مالچ باید به‌گونه‌ای باشد که حداقل برای ۱۸ ماه دوام بیاورد. هرچه عمر مؤثر مالچ در زمین بیشتر باشد، ارزش آن بالاتر خواهد بود.

۵) مالچ باید بتواند آب و هوا را از خود عبور دهد و آن‌ها را در دسترس گیاهان قرار دهد.

۶) مالچ نباید بوی زننده‌ی باقی‌مانده‌های نفتی را به‌همراه داشته باشد.

باید در نظر داشت که مالچ همان‌طوری که در رشد گیاهان مؤثر است، در رشد علف‌های هرز نیز تأثیر دارد. بنابراین، لازم است که علف‌کش‌ها را نیز همراه با مالچ به‌کار برد. هم‌چنین، قبل از استفاده از مالچ، باید بعضی از خصوصیات آن را بررسی کرد. مهم‌ترین این خصوصیات، عبارتند از:

۱) بررسی تأثیر ترکیبات زیان‌آور مالچ بر گیاهان و افراد استفاده‌کننده از آن

۲) بررسی تأثیر مالچ بر دما و رطوبت خاک

۳) بررسی مقاومت و پایداری مالچ در مقابل عوامل طبیعی، مصنوعی و حمله‌ی حشرات (زیرا این امکان وجود دارد که حشرات، مالچ را به مصرف تغذیه‌ی خود برسانند).

۵-۵-۹-۲) نقش مالچ در جلوگیری از پیشروی شن‌های روان

همانگونه که اشاره شد، یکی از کاربردهای فرآورده‌های نفتی، در جلوگیری از پیشروی شن-های روانی است که زمین‌های زراعی، شهرها، روستاها، جاده‌ها، قنوات و سایر عوارض را تهدید می‌کنند. در جهان، بعد از جنگ جهانی دوم، مالچ‌های نفتی به‌منظور تثبیت شن‌های روان مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج آن‌ها مثبت بود. در ایران نیز از سال ۱۳۴۶ استفاده از این مواد آغاز شد که در آن هنگام، بخشی از اراضی تهران، قزوین و اهواز، مورد مالچ‌پاشی قرار گرفتند. این مواد، به‌دلیل بهم چسباندن ذرات شن، کم کردن تبخیر و نگهداری رطوبت، رشد گیاهان را تسریع می‌کنند.

منظور از تثبیت شن‌های روان، این است که جلوی حرکت آن‌ها را به‌طور موقتی گرفت تا بتوان طی این‌مدت، در آن‌ها پوشش گیاهی به‌وجود آورد و در نهایت، شن‌ها به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان، به‌صورت پایدار بر جا بمانند.

برای تثبیت شن‌های روان، از روش‌های مختلفی مانند مالچ‌پاشی، استقرار پوشش گیاهی و ایجاد بادشکن استفاده می‌شود. اغلب برای به‌دست آوردن نتیجه‌ی مطلوب، این روش‌ها با هم به‌کار برده می‌شوند. به‌طور معمول، در طرف شیب‌های تند تپه‌ها که به‌صورت مستقیم در

www.PnuNews.com

معرض خطر باد قرار دارند، گیاهان مقاوم بوته‌ای (مانند گَوَن) کاشته می‌شوند و در طرف شیب‌های ملایم آن‌ها، مرتع‌کاری و یا جنگل‌کاری می‌کنند. در صورت امکان، بهتر است از گیاهانی استفاده نمود که علاوه بر مقاوم بودن آن‌ها، از چوبشان نیز بتوان بعدها استفاده کرد. از گیاهان کشت‌شده، به‌خصوص در سال اول، بایستی به‌خوبی محافظت نمود. همچنین، بهتر است که محل عملیات را قُرُق کرد؛ زیرا در غیر این‌صورت، در اثر چرای بی‌رویه، نتیجه‌ی اقدام-های انجام‌گرفته که به‌طور معمول، مخارج زیادی را نیز در بر دارند، از بین خواهد رفت.

از جمله کارهایی که در تثبیت شن‌های روان باید انجام داد، می‌توان موارد زیر را برشمرد:

۱) تعیین جهت، سرعت و دوره‌ی باد (که از نظر کشت گیاهان و ایجاد بادگیرها اهمیت دارد.)

۲) محاسبه‌ی مقدار بارندگی و تعیین توزیع آن

۳) بررسی ویژگی‌های شن‌ها از نظر تخلخل، ریزی و درشتی، قدرت جذب و نگهداری آب، مواد آلی، املاح و غیره

۴) بررسی تأثیر مالچ‌های مختلف در تثبیت شن‌ها برای شرایط مختلف (برای انجام این‌کار، به آزمایش تونل باد احتیاج است)

۵) تعیین گونه‌های درختی سازگار با شرایط منطقه

۶) کوددهی به زمین‌هایی که از مواد غذایی لازم برای رشد گیاهان (به‌ویژه، مراحل اولیه‌ی رشد) برخوردار نمی‌باشند.

۷) نهال‌کاری و بذرکاری در نزدیکی شروع فصل بارندگی (البته قبل از مالچ‌پاشی).

مهم‌ترین عامل موفقیت در استقرار پوشش گیاهی برای تثبیت شن‌های روان، انتخاب نوع گیاهان مناسب با شرایط محیطی منطقه می‌باشد. برای نمونه، استفاده از چنار و نارون برای مناطقی توصیه می‌شوند که از آب کافی برخوردار باشند. در مناطق خشک، می‌توان از گیاهانی نظیر تاغ[۱]، گز[۲]، اسکنبیل[۳]، اکالیپتوس[۴] و آتریپلکس[۵] استفاده نمود. در میان این گیاهان، تاغ از اهمیت بالاتری برخوردار است؛ چراکه هم به‌عنوان بادشکن زنده مورد استفاده قرار می‌گیرد و

1- Haloxylon
2- Tamarix
3- Calliognum
4- Eucalyptus
5- Atriplex

www.PnuNews.com

هم به‌عنوان یک پوشش گیاهی بلند، پس از چند سال می‌تواند مفید باشد و از چوب آن استفاده نمود. تکثیر این گیاه به‌وسیله‌ی بذر انجام می‌شود که به روش‌های کشت مستقیم، کشت در کیسه‌های پُلی‌اتیلنی و بذرکاری در کیسه‌های پلاستیکی انجام می‌شود. گیاه گز نیز از جمله گیاهانی است که از طریق قلمه ازدیاد پیدا می‌کند و این‌کار به دو شیوه‌ی کشت قلمه در زمین اصلی و یا کشت قلمه در خزانه انجام می‌شود.

به‌طور کلی، در انتخاب گیاهان بالا بایستی به نکات زیر توجه داشت:

الف) گیاهانی را برگزید که ضمن سازگار بودن با شرایط محیط، بتوان از چوب آن‌ها نیز استفاده کرد.

ب) گیاهانی را انتخاب نمود که از لحاظ نیاز آبی، کم‌توقع باشند و بتوانند شرایط نامساعد محیطی (مانند کم‌آبی، شوری و وجود املاح زیاد) را تحمل نمایند.

پ) در مناطق خشک بایستی گیاهانی را انتخاب نمود که ضمن مقاوم بودن به خشکی، دارای ریشه‌های عمیق باشند (مانند تاغ) که بتوانند تا عمق‌های پایین ادامه یابند.

www.PnuNews.com

۵-۶) پرسش

۱- مهم‌ترین خصوصیات خاک را که در فرسایش بادی مؤثر می‌باشند، نام ببرید؟
۲- نقش پوشش گیاهی در فرسایش بادی را تشریح نمایید؟
۳- منظور از ذرات معلق در فرسایش بادی چیست و اهمیت این ذرات به چه خاطر می‌باشد؟
۴- قطر متوسط حساس‌ترین ذرات به فرسایش بادی، در چه دامنه‌ای قرار دارد؟
۵- کدام ذرات خاک، این قابلیت را دارند که هم به‌صورت جهشی و هم به‌شکل معلق حرکت کنند؟ (دامنه‌ی قطر متوسط آن‌ها ذکر شود)
۶- چهار مورد از نتایج حاصل از فرسایش بادی را نام ببرید؟
۷- نقش ارتفاع بادشکن و عرض بادشکن را در کاهش سرعت باد توضیح دهید؟
۸- سرعت آستانه‌ی فرسایش و حداکثر سرعت باد غالب موجود در یک منطقه، به‌ترتیب، ۳۵ و ۴۵ کیلومتر بر ساعت می‌باشند. نوع بادشکن را از نظر تراکم تعیین نمایید.
۹- در صورتی که قطر متوسط ذرات خاک، دو میلی‌متر باشد؛ سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی این خاک بر حسب متر در ثانیه چقدر خواهد بود؟
۱۰- نقش مالچ در جلوگیری از پیشروی شن‌های روان را توضیح دهید؟
۱۱- منظور از مالچ نفتی چیست و برخی از خواص آن را نام ببرید؟

www.PnuNews.com

کتابنامه

اسمعلی، ا. و خ. عبداللهی. ۱۳۸۹. آبخیزداری و حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۵۷۸ صفحه.

تلوری، ع. ۱۳۷۱. شناخت فرسایش کناری رودخانه در دشت‌های رسوبی. انتشارات مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور. ۱۳۹ صفحه.

رفاهی، ح. ۱۳۷۸. فرسایش بادی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۰ صفحه.

رفاهی، ح. ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن (چاپ چهارم). انتشارات دانشگاه تهران. ۶۷۱ صفحه.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۱. راهنمای فرسایش و رسوب‌گذاری در محدوده‌ی آبشکن‌ها. نشریه‌ی شماره‌ی ۲۴۸.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۲. پیش‌نویس راهنمای مهار فرسایش و حفاظت رودخانه‌ها. نشریه‌ی شماره‌ی ۲۶۷.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۴. راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها. نشریه‌ی شماره‌ی ۳۸۳.

کادناس دلیانو، ل. ۱۳۷۸. کنترل سیلاب و تثبیت آبراهه‌ها. ترجمه‌ی ع. نجفی‌نژاد. انتشارات دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۹۹ صفحه.

نخجوانی، ف. ۱۳۵۱. مبارزه با فرسایش و اصلاح آبخیزها. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۸۵ صفحه.

نیلی، ن. ۱۳۸۰. ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبخیزداری در رابطه با کنترل فرسایش و رسوب و

www.PnuNews.com

استحصال آب. چکیده مقالات نخستین همایش آبخیزداری و مدیریت استحصال آب در حوضه‌های آبخیز، صفحه‌ی ۲۵.

هادسون، ن. ۱۳۸۲. حفاظت خاک. ترجمه‌ی ح. قدیری. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۴۷۰ صفحه.

Arnoldus, H.M.J. 1977. Predicting soil losses due to sheet and rill erosion. FAO Conservation Guide No.1. Rome.

Beasley, D.B. 1991. ANSWERS user manual (2nd ed.). Agricultural Engineering Department Publication, No. 5.

Beasley, D.B., Huggins, L.F. and Monke, E.J. 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, Vol. 23, PP. 938-944.

Beckmann, G. and Smith, K.J. 1974. Micromorphological changes in surface soils following wetting, drying and trampling in soil microscopy. Proceedings of the Fourth International Working Meeting on Soil Micromorphology. PP. 832- 845.

Benard, G., Foster, R., Wesies, A. and Porter, P. 1991. RUSLE revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 46, PP. 30-33.

Benhur, M. 1994. Runoff, erosion and polymer application in moving sprinkler irrigation. Soil Science, Vol. 158, PP. 283- 290.

Benhur, M., Plaut, Z., Levy, G.L., Agassi, M. and Shainberg, I. 1995. Surface runoff, uniformity of water distribution and yield of peanut irrigated with moving sprinkler system. Agronomy Journal, Vol. 87, PP. 613- 619.

Bennett, H.H. 1939. Soil Conservation. Mc.Graw. and Hill Book Company.

Blacklusn, W.H., kingth, R.H. and Merrill, L.B. 1978. Watershed parameters as influenced by grazing, Texas. Watershed Parameters, PP. 553- 572.

Bryan, R.B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. Geomorphology, Vol. 32, PP. 385- 415.

Esmaeili Vardanjani, N., Mohammadi, J. and Eskandari, Z. 2002. Effect of long-term grazing exclusion on controlling soil erosion. Proceeding of 17th WCSS symposium, 14-21 August, Thailand. Paper No. 997.

FAO. 1979. A provisional methodology for soil degradation assessment. Rome. Italy.

FAO. 1994. Gully control. FAO Conservation Guide. Rome, Italy.

www.PnuNews.com

Foster, G.R. 1982. Modeling the erosion process. Hydrologic modeling of small watersheds. American Society of Agricultural Engineers. St Joseph. Mi. U.S.A.

Foster, G.R., Lane, L.J. and Lanflen, J.M. 1989. Water erosion prediction project (WEPP). Workshop USDA-ARS.

Fournier, F. 1972. Rational use and conservation of soil. Geoforum, Vol. 10, PP. 35-47

Ghorbani, B. 1997. A mathematical model to predict surface runoff under sprinkler irrigation condition. Ph.D. Thesis, Silsoe College, Cranfield University. Bedford Uk.

Hajabasi, M.A., Jalaian, A. and karimzadeh, H.R. 1997. Deforestation effects on soil physical and chemical properities, Lordegan Iran. Plant and Soil, Vol. 190, PP. 301- 308.

Hamilton, L.S. and Pearce, A.J. 1987. What are soil and water benefits of planting trees in developing country watershed. In: Soutgate, D.D. and Disinger, J.E. (eds.). Sustainable Resource Development in the Third World. West View, Boulder Colorado, USA, PP. 39-58.

Hodgkinson, K.C. 1993. Tactical grazing can help maintain stability of semiarid woodlands. Proceeding of the 17th International Grassland Congress. Palmerston North. New Zealand. PP. 75- 76.

Huggett, R., 2003. Fundamentals of Geomorphology. Routledge Fundamentals of Physical Geography, Taylor and Francis Group, London and New York.

Knisel, W.G. (ed.). 1980. CREAMS: A field scale model for chemicals runoff and erosion from agricultural management systems. USDA Conservation Research Report, No. 26.

Knoll, G. and Hopkins, H. 1959. The effects of grazing and trampling upon certain soil characteristics. Trans. Kansas Acad. Sci, Vol. 62, pp. 221- 231.

Lal, H.W. 1959. Soil compaction on forest and range soils. WSDA Misc. Publication.

Lal, R., Sanchez, P.A. and Cummings, R. 1986. Land clearing and development in the tropics. Balkema, Rotterdam, Netherlands.

Misra, R.K. and Rose, C.W. 1992. A guide for the use of erosion-deposition programs. Department of Earth Sciences, Griffith university, Australia.

Morgan, R.P.C. 1996. Soil erosion and conservation. 2nd ed. Silsoe College, Cranfield University, UK.

www.PnuNews.com

Morgan, R.P.C. 2001. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan-Morgan-Finney model. Catena, Vol. 44, PP. 305-322.

Morgan, R.P.C. and Rickosn, R.J. 1990. Issue on soil erosion in Europe: The need for soil conservation policy. In: Boardman, J., Foster, D.L. and Dearing, J.A. (eds). Soil erosion on agricultural lands. Wiley, Chichester. PP. 591- 603.

Morgan, R.P.C., Quinton, J.N. and Rickson, R.J. 1991. EUROSEM: A user guide. Silsoe College, Cranfield University, UK.

Morgan, R.P.C., Quinton, J.N. and Rickson, R.T. 1993. EUROSEM: A user guide, version 3.1. Silsoe College, Cranfield University, UK.

Nearing, M.A., Foster, G.R., Lane, L.J. and Finckner, S.C. 1989. A process- based soil erosion model for USDA water erosion prediction project technology. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. Vol. 32, PP. 1587-1593.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. and King, K.W. 2002. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. and King, K.W. 2002. Soil and water assessment tool: User's Manual. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station.

Rickson, R.J. 1994. Pontential application of the European Soil Erosion Model (EURUSEM) for the evaluating soil conservation measures. In: Rickson, R.J. (ed.). Conserving soil Resources: European Perspective. CAB Internaticnal Walingford, Oxford Shire.

Stehlik, O. 1975. Potential soil erosion by running water on territory of the Czech Socialist Republic. Brno: Ceskoslovenska akademie ved, Geograficky Ustav.

UNDP. 1999. Human Development Report of the Islamic Republic of IRAN. Chapter 8, PP. 109-121.

Walsh, R.P.D. and Voigt, P.J. 1977. Vegetation litter: an underestimated variable in hydrology and geomorphology. Journal of Biogeography. Vol. 4, PP. 253- 274.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. USDA Agricultural Handbook, No. 537.

www.PnuNews.com

Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. and Cross, B.V. 1971. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 26, PP. 189-193.

Woolhiser, D.A., Smith, R.A. and Goodrich, D.A. 1990. KINEROS: a kinematics runoff and erosion model documentation and user manual. USDA.

Yu, B. and Rose, C.W. 1997. Toward a framework for runoff and soil loss prediction using GUEST technology. Aust. J. Soil. Res., Vol. 35, PP. 1191- 2120.

www.PnuNews.com