نکته ها یی از

فرسایش و حفاظت خاک

از سری جزوات کارشناسی ارشد

تهیه کننده و گردآورنده : www.SOILS.blogfa.com و www.SOILBOOK.blogfa.com

۱۳۸۸

نکته ها از فرسایش و حفاظت خاک

مقدمه :

هیچ پدیده خاکی در مقیاس جهانی مخرب تر از فرسایش ناشی از باد و آب نیست. از روزگاران ماقبل تاریخ، بشر زخم تازیانه ی فرسایش خاک را بر پیکر خود به همراه داشته و از پیامد های آن یعنی سوء تغذیه و گرسنگی رنج می برد. تمدن های باستانی با شسته شدن خاک های آنها که زمانی عمیق و حاصلخیز بود و با به جای گذاشتن تپه های غیر حاصلخیز صخره ای دچار فرو پاشی شدند. با مشاهده ی تپه های بایر در هندوستان مرکزی و یا بخش های از یونان، لبنان و سوریه، تصور این امر مشکل است که زمانی در این مناطق جوامع کشاورزی دارای شکوفایی بودند.

تهدید فرسایش خاک، امروزه بسیار شوم تر از هر زمان دیگر در تاریخ می باشد. در نسل امروز، زار عین مجبور شده اند تولید محصولات غذایی را برای رفع نیازهای افزایش بی سابقه جمعیت، به بیش از دو برابر برسانند. در کشورهای کم درآمد نسبت جمعیت به اراضی زراعی قابل استفاده که از قبل نیز بسیار بالا بوده در حال افزایش است. در حالی که کشت و کار در اراضی حاصلخیز مسطح تمرکز یافته، و در تامین بیشتر غذای مورد نیاز کمک کرده است، بسیاری از ملت ها مجبورند که سطح اراضی زیر کشت خود را توسعه داده و به سوزاندن و جنگل تراشی در شیب های تند و شخم زدن مراتع اقدام کنند. فشار جمعیت همچنین سبب چرای بی رویه دام ها در مراتع و استخراج بیش از حد منابع چوب گردیده است. تمامی این فعالیت ها سبب تخریب و یا حذف پوشش گیاهی، و در معرض قرار گرفتن هر چه بیشتر خاک حساس زیرین این منطقه به فرسایش می شود. نتیجتاً حاصل این چرخه شیطانی، تخریب یا تنزل کیفیت اراضی است، تخریب سبب کم شدن محصول، فقر انسانی، و کاهش پوشش گیاهی در روی خاک است، که به نوبه ی خود سبب فرسایش پرشتاب شده و عده ی بیشتری از مردم نیازمند را به قطع اشجار، شخم و تخریب اراضی وادار می سازد.

تنزل توان تولید مزارع، جنگل ها و مراتع فقط بخشی از داستان تاسف بار فرسایش را بازگو می کند. ذرات خاک شسته شده و یا باد رفته از مناطق فرسایشی بعداً در جای دیگر مانند اراضی پست مجاور رودخانه ها و نهرها و یا در مخازن و لنگر گاه های پایین دست ترسیب خواهند یافت. خسارت زیست محیطی و اقتصادی در مناطقی که مواد خاکی فرسایش یافته در آن ترسیب می یابد، ممکن است به اندازه مناطق فرسایشی که خاک از آنها جدا شده است بوده و یا از آنها بیشتر باشد. مواد خاکی جابجا شده سبب بروز مسایل آلودگی آب و هوا شده و هزینه سنگین اقتصادی و اجتماعی را در جامعه به دنبال خواهد داشت. خوشبختانه دهه های اخیر شاهد پیشرفت های زیادی در فهم سازوکار فرسایش و ابداع روش های که می توانند به طور موثر و توجیه پذیر از جنبه اقتصادی هدر رفت خاک را در اکثر موارد مهار کنند، بوده ایم.

یکی از این راهکارها، حفاظت خاک است. حفاظت خاک نقطه مقابل تخریب خاک است. اینکه ما بدانیم چگونه خاک های کشور را حفاظت کنیم می توانیم از تخریب آنها جلوگیری کنیم. نکته مهم دیگر اینکه؛ خاک چیزی نیست که در عرض یک سال، ده سال و یا بیست سال فاسد شود و بگندد و بعد ما پی به فساد آن ببریم. همانطور که تشکیل آن تدریجی است، تخریب آن نیز تدریجی است. ولی در شرایط کنونی این یک تخریب فزاینده تدریجی است. گویای این صحبت آمارهای است که طبق براورد های آن فرسایش خاک در ایران 4 الی 5 برابر نرم جهانی است. پس باید کاری کرد...

۞**نکته ۱** : عوامل موثر در ناپایدار شدن یک اکوسیستم :

۱) جنگل تراشی

۲) افزایش جمعیت

۳) تبدیل مراتع به دیم زار

۴) استفاده از مراتع بدون توجه به ظرفیت آنها

۵) استفاده از اراضی بدون توجه به کاربری آنها

۶) بهبود وضع بهداشت و افزایش سطح فرهنگ جامعه

۞**نکته ۲** : تبعات یک اکوسیستم ناپایدار :

۱) رانش زمین
۲) از بین رفتن خاک
۳) فرسایش و رسوب
۴) سیل و خشکسالی
۵) بیابانی شدن اراضی
۶) آلودگی آب، خاک و هوا
۷) کاهش حاصلخیزی خاک

۞**نکته ۳** : راهکارهای برای بهبود اکوسیستم های ناپایدار :

۱) کاهش تعداد دام از مراتع
۲) جلوگیری از تبدیل مرتع به دیم زار
۳) جلوگیری از قطع جنگلها و بوته ها
۴) افزایش راندمان محصول در واحد سطح
۵) تهیه منابع پروتئینی دیگر غیر از گوشت قرمز
۶) تبدیل دیم زار های کم بازده به علوفه های چندساله

۞**نکته ٤** : عوامل موثر در فرسایش سریع خاک :

۱) جنگل تراشی
۲) تبدیل مرتع به دیم زار
۳) عملیات نادرست کشاورزی
۴) استفاده از مراتع بدون توجه به ظرفیت آنها
۵) جاده سازی غلط و بهره برداری ناصحیح از معادن
۶) شخم و شیار در اراضی شیب دار، آن هم در جهت شیب

۞**نکته ۵** : فرسایش (Erosion) از ریشه لاتین Eroderi به معنی سائیدگی گرفته شده و عبارت است از سائیده شدن سطح زمین. و بطور کلی فرسایش به فرایندی گفته می شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می شود.

۞**نکته ۶** : اولین تحقیقاتی که در زمینه حفاظت خاک در جهان انجام گرفت توسط آقای Wollny دانشمند المانی بین سال های 1877-1895 بود. ایشان نقش پوشش گیاهی، نوع خاک و همچنین شیب را در فرسایش خاک مورد بررسی قرار داد. که این بررسی ها هسته اولیه موضوع تحقیقاتی مرتبط با حفاظت خاک را در دنیا گذاشت.

۞**نکته ۷** : در سال 1968 دو دانشمند به نام های Wischmeir & Smith فرمولی را به جهان ارایه دادند به نام فرمول جهانی محاسبه فرسایش خاک، که این فرمول جهانی هنوز هم معتبر است. این فرمول فرسایش را تابعی از دو عامل می داند

$$Erosion = f(\ Erosivity \times Erodibility)$$

منظور از Erosivity ، عامل سایش دهندگی است که انرژی قطرات باران می باشد و Erodibility که عامل سایش پذیری است. یک طیف وسیعی از خاک، نوع استفاده و مدیریت اراضی را در بر می گیرد.

نکته ۸ : در یک تقسیم بندی کلی، ما دو نوع فرسایش داریم

۱) فرسایش طبیعی یا ژئولوژیکی یا نرمال یا متعارف Geological Or Natural Soil Erosion

در فرسایش طبیعی که در طی زمان های بسیار طولانی صورت می گیرد عمق خاک کم نمی شود بلکه زیاد می شود. در واقع فرسایش طبیعی نهایتا منجر به تشکیل خاک می گردد. و به نوعی دیگر می توان گفت که در این نوع فرسایش، خاکسازی بیشتر از فرسایش خاک بوده و در نتیجه عمق پروفیل خاک افزایش می یابد.

۲) فرسایش سریع یا مخرب Accelerated Erosion

موقعی این فرسایش شروع شد که انسان پا در طبیعت گذاشت و پوشش گیاهی را از بین برد. در فرسایش سریع، مقدار فرسایش از خاکسازی بیشتر است و عمق پروفیل خاک نیز کم می شود. و همانطور که می دانید حداکثر فرسایش قابل قبول تا حد خاکسازی است.

نکته ۹ : در زیر عوامل موثر در فرسایش آبی، که عبارتند از عوامل اقلیمی، فرسایش پذیری خاک، شیب زمین، پوشش گیاهی و مدیریت (نحوه بهره برداری از اراضی)؛ را بطور کامل شرح می دهیم.

۱) عوامل اقلیمی :

در بین عوامل اقلیمی باران، تگرگ، برف، یخبندان، دما و باد می توانند از عوامل موثر در ظهور فرسایش آبی خاک باشند.

۱-۱) نقش باران در فرسایش خاک :

صحبت کر دن از نقش باران در ایجاد فرسایش خاک به نوعی پرداختن به اصلی ترین مبحث فرسایش است. در واقع باران اساس شروع فرسایش است. لذا در اینجا ما فقط به برخی از نکات و اصطلاحات اساسی در این زمینه می پردازیم.

① مقدار باران :

مقدار باران در ایستگاههای باران سنجی اندازه گیری می شود که این ایستگاهها شامل چند نوع هستند.

۱- ایستگاههای باران سنج معمولی ۲- ایستگاههای کلیماتولوژی ۳- ایستگاههای سینوپتیک ۴- باران سنج ذخیره ای

ساده ترین و ارزانترین ایستگاهها از نوع معمولی است و بهترین ایستگاهها، ایستگاه سینوپتیک است که دارای باران سنج ثبات است. این نوع باران سنج ها رابطه بین مقدار باران و زمان را به ما می دهد که در حقیقت از روی آن شدت باران را حساب می کنیم

② شدت بارندگی :

شدت بارندگی که از تقسیم ارتفاع بارش بر زمان بدست می آید. به دو طریق می تواند در تشدید فرسایش اثر گذار باشد. نخست آنکه وقتی شدت زیاد است خاک قدرت جذب آب را ندارد و در نتیجه نزولات به صورت هرز آب حرکت می کند، دیگر آنکه هر چه شدت بارندگی بیشتر باشد قطر قطره بیشتر و انرژی جنبشی آن نیز بیشتر خواهد شد.

مطالعات آقای Best (1950) نشان داد که رابطه ای بین D_{50} (قطری است که ۵۰ درصد قطرات باران از آن بزرگتر و ۵۰ درصد از آن کوچکتر می باشند) و شدت بارندگی (I) وجود دارد. $D_{50}= a.I^b$

در این فرمول a و b ضرایب مسئله بوده و به ترتیب برابر 2.23 و 0.182 می باشند.

این فرمول نشان می دهد که هر چه شدت بارندگی زیاد تر شود D_{50} هم اضافه می شود. ولی آقای هودسون در سال 1963 رابطه Best را رد کرد و گفت این رابطه تا یک شدت خاصی صحیح است و اگر از شدتی زیادتر شود رابطه بالا صحیح نیست و شدت های که هودسون ارایه کرد شدت های بین 80-100 mm/hr است و گفت در شدت های بالا تر ذرات به قطرات ریز تر تبدیل می شود و D_{50} به جای افزایش، کاهش می یابد. لذا معادله Best تا یک شدت ثابتی صادق است.

③ شدت بحرانی :

حداقل شدتی که ایجاد فرسایش می کند که معادل با 0.4 mm/min یا 24 mm/hr در نظر گرفته می شود.

④ اندازه قطرات باران :

اولین کسی که در این زمینه کار کرد آقای Lowe 1892 بود ایشان برای تعیین اندازه قطرات باران از کاغذ های جاذب الرطوبت استفاده می کرد. اما بدلیل اینکه این کاغذها اندازه قطرات بارن را درشت تر نشان می دادند. این روش بعد از مدتی منسوخ شد و آقای Hodson در سال 1964 روشی را بنام روش آرد ارایه کرد.

نهایتا مطالعات آقای هادسون نشان داد که حداقل قطر قطرات باران 0.2 mm و حداکثر قطر قطرات باران 5 mm می باشد و به دلیل آنکه قطرات باران برخلاف قطرات اشک، حالت مسطح دارند لذا ذرات بزرگتر از 5 mm بر اثر اصطکاک هوا خرد شده و به ذرات ریز تر تبدیل می شود.

⑤ توزیع اندازه قطرات باران :

برای محاسبه این پارامتر از معیاری بنام D_{50} استفاده می شود در واقع D_{50} قطری است که 50 درصد قطرات باران از آن بزرگتر و 50 درصد از آن کوچکتر می باشند.

⑥ سرعت حد یا سرعت نهائی بارندگی :

سرعت قطرات باران ابتدا در اثر نیروی جاذبه مرتبا افزایش می یابد تا جایی که مقاومت ناشی از اصطکاک هوا برابر نیروی جاذبه شود، از آن پس سرعت ثابت می ماند. این سرعت ثابت همان سرعت حد باران است. و بطور کلی سرعت نهایی قطره باران به قطر آن بستگی دارد، قطرات کوچک باران در یک فاصله کوتاه تر به سرعت حد نهایی خود می رسند در حالی که قطرات درشت پس از سقوط حدود ۱۰ متر یا کمی کمتر به سرعت نهایی خود می رسند.

سرعت نهایی قطره بارانی به قطر 5 mm برابر با 9 m/sec و یا 32.4 Km/hr می باشد.

⑦ شاخص فرسایش باران :

مطالعات محققین مختلف از جمله ویشمایر، نشان داد که ارتباط نزدیکی بین عامل سایش دهندگی (R) با حداکثر شدت بارندگی نیم ساعته (I_{30}) و انرژی سنتیک قطرات باران (E) وجود دارد. $R= E.I_{30}$

در واقع حاصلضرب دو عامل I_{30} و E که به آن شاخص EI_{30} یا شاخص ویشمایر می گویند، توانایی هر باران را در جداسازی ذرات خاک و انتقال آن نشان می دهد.

آقای ویشمایر فرمولی را برای محاسبه انرژی جنبشی به شرح زیر ارایه کردند.

$KE = 210.2 + 89Log_{10} I$

KE انرژی سنتیک = (ton.m/ ha.cm) و I شدت بارندگی = (cm/ hr)

⑧ KE > 1 inch Index :

با توجه به اینکه ایراداتی بر شاخص EI_{30} وارد بود از جمله اینکه انرژی سنتیک (جنبشی) محاسبه شده در این رابطه برای مناطق پر باران گرمسیری که بارندگی با شدت زیاد دارند صادق نیست. لذا آقای هادسون استفاده از شاخص فرسایندگی EI_{30} را در مناطق استوایی و نیمه استوایی مناسب ندانست و برای این مناطق شاخص « انرژی جنبشی بیشتر از یک (KE > 1) » را پیشنهاد کرد. این شاخص در واقع برابر است با مجموع انرژی جنبشی دوره هایی از بارندگی که در هر یک شدت بارندگی، یک اینچ در ساعت و یا بیشتر باشد. به عبارت دیگر مجموع انرژی جنبشی دوره هایی از بارندگی که فرساینده هستند. لازم به ذکر است که این شاخص در سیستم متریک به صورت KE > 25 عرضه شده است (مجموع انرژی جنبشی دوره های از بارندگی که در آنها شدت بارندگی ۲۵ میلیمتر در ساعت یا بیشتر باشد)

در زیر برخی از نکات جا مانده از نقش باران در فرسایش خاک را مرور می کنیم

☂ فرساینده ترین باران ها آنهایی هستند که شدت زیاد و مدت زمان بارش کافی داشته باشند.

☂ در باران های با شدت زیاد، سرعت نفوذ فقط برای چند دقیقه اول ثابت بوده، سپس به سرعت کاهش می یابد. در مورد باران با شدت متوسط، سرعت نفوذ مدت زمان نسبتا بیشتری ثابت بوده، سپس کاهش می یابد و در مورد

باران با شدت کم، سرعت نفوذ به مدت طولانی تری ثابت بوده، سپس کاهش می یابد. به طور کلی هی توان گفت که هر چه شدت بارندگی بیشتر باشد سرعت نفوذ سریع تر کاهش یافته، در نتیجه آبدوی افزایش می یابد.

در حین یک بارندگی اگر بیشترین شدت آن در اوایل اتفاق بیفتد آن را رگبار پیش افتاده می نامند و اگر بیشترین شدت در حدود اواسط بارندگی رخ دهد آن را به عنوان یک رگبار متوسط و اگر در انتهای دوره بارندگی اتفاق افتد به عنوان یک رگبار دیر کرده طبقه بندی می کنند. بیشترین آبدوی معمولا توسط یک رگبار دیر کرده تولید می شود زیرا شدت زیاد باران در هنگامی است که درجه نفوذ خاک به علت ریزش مداوم باران کاهش یافته است.

۲-۱) نقش برف و تگرگ در فرسایش خاک :

فرسایش حاصل از تگرگ به دلیل جرم زیاد و درشتی دانه ها و در نتیجه بالا بودن سرعت سقوط قطرات به مراتب بیشتر از فرسایش ناشی از باران های شدید است. ولی در مورد فرسایش ناشی از برف اینطور نیست و شدت این نوع فرسایش خیلی کمتر از فرسایش ناشی از باران است.

۲) فرسایش پذیری خاک Erodibility :

علاوه بر عوامل اقلیمی که در بالا به آن پرداختیم عوامل دیگر همچون فرسایش پذیری خاک نیز در فرسایش آبی تاثیر گذارند که در زیر به آن می پردازیم.

بنا به تعریف فرسایش پذیری خاک، مقاومت خاک در برابر جدا شدن و انتقال ذرات است. از گذشته تا به امروز روش های مختلفی برای تعیین فرسایش پذیری خاک استفاده شده است که از آن جمله می توان به روش بایکوس اشاره کرد که ایشان اعتقاد داشت که فرسایش پذیری با نسبت (% Sand + % Silt) / %Clay متناسب است و در خاک های که این نسبت کوچکتر است فرسایش کمتر است. البته این روش امروزه بنا بر ایراداتی که بر آن وارد بود منسوخ شده است. و اما اقای بریان مقدار خاکدانه های که قطر آنها بیش از 0.5 میلی متر بوده و در برابر آب پایدار می باشند را به عنوان شاخص فرسایش پذیری در نظر گرفت و گفت هر چه ذرات با قطر بیشتر از 0.5 میلی متر در خاک بیشتر باشد. آن خاک مقاومت بیشتری در برابر فرسایش نشان می دهد.

نهایتا در سال 1971 آقای ویشمایر و همکارانش در ایالت متحده امریکا، بین فرسایش پذیری خاک و ۵ خصوصیت خاک یعنی در صد سیلت + شن خیلی ریز، درصد شن، مواد الی، ساختمان و قابلیت نفوذ خاک ارتباطی برقرار کرده و فرمولی را ارایه کردند که بوسیله آن می توان میزان فرسایش پذیری خاک را بدست آورد. بحث در زمینه فرمول ویشمایر و نوموگرافی که برای تعیین فرسایش پذیری خاک ارایه کردند را در مباحث آینده ادامه می دهیم.

در زیر قصد داریم به خصوصیاتی از خاک که در فرسایش پذیری آن موثر است شامل: سرعت نفوذ، ظرفیت کل آب خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک، بافت خاک، ساختمان خاک و کلوئیدهای خاک اشاره کنیم

۲-۱) نقش سرعت نفوذ در فرسایش پذیری خاک :

هر چه سرعت نفوذ در خاک بیشتر باشد میزان رواناب و در نتیجه فرسایش خاک کمتر خواهد بود. پس به منظور کاهش فرسایش بهتر است در خاک شرایطی را فراهم آورد تا آن خاک نفوذ پذیر گردد به طور مثال می توان به خاک های رسی، آهک اضافه کرد تا آن خاکها نفوذ پذیر گردند.

۲-۲) نقش ظرفیت کل آب خاک (ظرفیت ذخیره آب) در فرسایش پذیری خاک :

هر چه ظرفیت کل آب خاکی بیشتر باشد مقدار بیشتری از آب باران را جذب می کند و در نتیجه مقدار آبدوی و فرسایش کمتر خواهد بود. خاکهای که تخلخل کل بیشتری دارند در نتیجه ظرفیت ذخیره آب آنها نیز بیشتر است و نهایتاً فرسایش در آنها کمتر است. و نکته دیگر اینکه با افزایش عمق خاک مقدار این ظرفیت افزایش می یابد، بنابراین در صورت یکسان بودن سایر شرایط، فرسایش در خاک های عمیق کمتر از فرسایش در خاک های کم عمق می باشد.

۲-۳) نقش ظرفیت نگهداری آب خاک در فرسایش پذیری خاک :

طبق تعریف، نیرویی که خاک می تواند بخشی از آب را در خود نگه دارد ظرفیت نگهداری آب خاک نامیده می شود.

هر چه ظرفیت نگهداری آب خاکی بیشتر باشد مقدار آبدوی و در نتیجه فرسایش کمتر خواهد بود. میزان این ظرفیت در خاکهای شنی حدود ۹ درصد، در خاکهای متوسط بافت حدود ۱۸ درصد و در خاکهای رسی حدود ۳۶ درصد است.

۲-۴) نقش بافت خاک در فرسایش پذیری خاک :

بین مقدار سیلت یک خاک و فرسایش پذیری آن ارتباط نزدیکی وجود دارد. هر چه مقدار سیلت خاک بیشتر باشد فرسایش پذیری آن افزایش می یابد. و بطور کلی ذرات سیلت و شن خیلی ریز (ذراتی بین ۲۰۰-۲ میکرون) فرسایش پذیری زیادی دارند.

۲-۵) نقش ساختمان خاک در فرسایش پذیری خاک :

خاکهایی که دارای ساختمان دانه ای هستند دیرتر از خاک هایی که ساختمان سفت یا ساختمان پوک دارند فرسوده می شوند. به طور کلی خاکدانه های درشت و با ثبات مقاوم به فرسایش هستند.

عواملی که در اندازه و ثبات خاکدانه ها و در نتیجه در کاهش فرسایش موثرند عبارتند از : بافت خاک، نوع یون ها در کمپلکس کاتیون تبادلی، نوع کانی های رس، مواد آلی و نوع مواد سیمانی

خاک هایی که حاوی مقدار زیادی کاتیون های بازی هستند مقاوم به فرسایش می باشند زیرا این مواد باعث پیوند های شیمیایی در بین ذرات خاکدانه ها شده، ذرات فلو کوله می شوند، ولی اگر در خاکی مقدار زیادی Na یا K وجود داشته باشد ذرات منتشر خواهند شد. اگر درصد سدیم تبادلی (ESP) خاکی از ۲۰ درصد تجاوز کند درصد خاکدانه های پایدار تقریبا به صفر می رسد.

عامل دیگری که در ثبات ساختمانی و در نتیجه در فرسایش پذیری خاک موثر است نوع کانی های رس می باشد، زیرا پایداری خاکدانه ها به نوع کانی های رس موجود در خاک بستگی دارد. رس های که در آنها نسبت سیلیس به اکسیدهای آهن و آلومینیوم بیشتر است در اثر رطوبت متورم شده، پلاستیک می گردد و خاکدانه ها ناپایدار می شوند و بر عکس رس های که این نسبت در آنها کمتر است خاکدانه هایشان در برابر آب مقاومت بیشتری دارند و بنابراین فرسایش پذیری آنها کمتر است.

نسبت سیلیس به اکسید های آهن و آلومینیوم با حرارت متوسط سالانه تغییر می کند. مقدار این نسبت در آب و هوای سرد زیاد و در آب و هوای گرم کم است، بنابراین در آب و هوای سرد یا معتدل مرطوب معمولا رسهای ۲ به ۱ مانند مونت موریونیت و ایلیت که در آنها نسبت سیلیس به اکسیدهای آهن و آلومینیوم زیاد است فراوان می باشد و در آب و هوای گرم مرطوب رسهای ۱ به ۱ مانند کائولینت که در آنها این نسبت کم است برتر می باشند. خاکدانه هائی که رس آنها از نوع ۲ به ۱ یعنی مونت موریونیت است (نسبت سیلیس به اکسیدهای آهن و آلومینیوم زیاد است) ناپایدار و بنابراین فرسایش پذیرند. خاکدانه های که رس آنها از نوع ۱ به ۱ یعنی کائولینت است (نسبت سیلیس به اکسیدهای آهن و آلومینیوم کمتر است) پایدار و در نتیجه مقاوم به فرسایش هستند. رس نوع ایلیت از نظر پایداری ساختمان و مقاومت به فرسایش حد واسط رسهای مونت موریونیت و کائولینت است.

مواد آلی نیز در پایداری خاکدانه ها موثر است. خاکهایی که کربن آلی در آنها از ۲ درصد کمتر باشد قابل فرسایش به شمار می روند. ویشمایر و همکارانش نشان داده اند که محدوده تاثیر مواد آلی در ثبات ساختمانی، بین ۰ الی ۴ درصد است و مقادیر بیش از ۴ درصد تاثیر زیادی در افزایش ثبات خاکدانه ها ندارد.

نقش هوموس در جلوگیری از فرسایش خاک به نوع آن بستگی دارد. هوموس اسیدی که یک هوموس نارس است نسبت به هوموس خاکستری و قهوه ای زودتر در معرض فرسایش قرار می گیرد. زیرا این نوع هوموس پیوند ضعیفی با رس دارد، به آسانی در آب حل می شود و بعلاوه این هوموس در سطح خاک تشکیل می شود و با خاک مخلوط نمی گردد. و خاکهای که هوموس از نوع خاکستری دارند مثل خاکهای چرنوزم، خطر فرسایش در آنها کمتر است.

عامل دیگر که در ثبات ساختمانی و در نتیجه در فرسایش خاک موثر است نوع مواد سیمانی است. بین مواد سیمانی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم بهترین ملات برای خاکدانه ها می باشند. این امر در مورد لاتوسلها مشهود است. پایداری ساختمانی این خاکها زیاد است، بنحوی که حتی اگر آنها را در حالت مرطوبی شخم بزنند خاکدانه ها به همان صورت اول باقی می مانند.

۲-۶) نقش کلویید های خاک در فرسایش پذیری خاک :

نوع کلوئیدهای خاک به دلیل تاثیرشان در نفوذپذیری در فرسایش پذیری خاک موثرند. هر چه کلوئیدهای خاک در اثر جذب رطوبت بیشتر متورم شوند از قطر خلل و فرج آنها بیشتر کاسته می شود. به این دلیل است که آبدوی حاصل در خاکهای کاملا رسی مرکب از رسهای آماس پذیر بیشتر خواهد بود. البته خاکهای حاوی کلوئیدهای ئیدروفیل (آبدوست) نیز با جذب آب میزان آبدوی را کاهش داده، فرسایش را محدود می سازند.

۳) شیب زمین :

خصوصیاتی از شیب که در فرسایش خاک دخالت دارند عبارتند از : درجه، طول، شکل و جهت شیب.

۳-۱) نقش درجه شیب در فرسایش خاک :

در صورت یکسان بودن سایر شرایط ، شیب های تند (البته تا حدی از درجه شیب) فرسایش بیشتری ایجاد می کنند زیرا در شیب های تند آب با سرعت بیشتری به طرف پایین جاری می شود و در نتیجه انرژی جنبشی و قدرت فرسایندگی آن بیشتر می شود. اگر شیب زمین ۴ برابر گردد، سرعت جریان ۲ برابر می شود با دو برابر شدن سرعت جریان آب انرژی جنبشی و در نتیجه قدرت فرسایندگی آن ۴ برابر می شود.

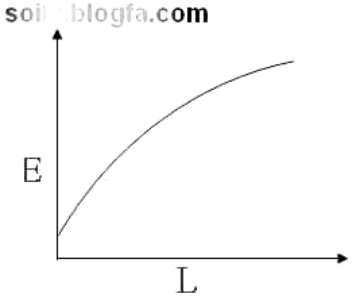
بررسیها نشان داده است که مقدار فرسایش خاک با درجه شیب زمین رابطه خطی ندارد، بلکه رابطه بین آنها به صورت نمایی است و رابطه ریاضی آن به صورت روبرو است : $E = f.S^a$

در رابطه بالا، E مقدار فرسایش، S درصد شیب و a یک نما با مقدار حدود 1.4 می باشد.

۳-۲) نقش طول شیب در فرسایش خاک :

با یکسان فرض کردن سایر شرایط در دو شیب هم درجه ولی با طول متفاوت، میزان فرسایش در شیب طولانی بیشتر از فرسایش در شیب کوتاه است. همچنین فرسایش در طول شیب نیز یکنواخت نیست و در قسمت های انتهایی شیب ما فرسایش بیشتری داریم. برخی از محققین مقدار فرسایش در انتهای طول شیب را ۱.۵ برابر متوسط فرسایش در کل شیب می دانند.

بین طول شیب و میزان فرسایش نیز رابطه نمایی به شکل زیر وجود دارد. $\mathbf{E = f.L^b}$



در این فرمول E مقدار فرسایش؛ L طول شیب؛ b ضریبی است که برخی از متخصصین آنرا 0.6 براورد کرده اند.

۳-۳) نقش شکل شیب در فرسایش خاک :

محققین اثر چهار نوع شیب؛ یعنی یکنواخت، محدب، مقعر و کمپلکس را در ایجاد فرسایش مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که، در شیب های محدب مقدار فرسایش با دور شدن از مقسم آب افزایش می یابد و در شیب های مقعر فرسایش در بالا دست شیب بیشتر و در پایین دست آن کمتر است. در شیب های یکنواخت مقدار فرسایش بتدریج به طرف پایین شیب افزایش می یابد. همچنین مطالعات دانشمندان نشان داده است که در شیب مقعر کمترین مقدار خاک و در شیب محدب بیشترین مقدار خاک از بین می رود. و شیب های یکنواخت و کمپلکس حدواسط می باشند که البته میزان خاک از بین رفته از شیب کمپلکس کمتر از یکنواخت بوده است. به بیانی ساده تر شدت فرسایش در شیب ها به ترتیب کم به زیاد به قرار زیر است.

مقعر < کمپلکس < یکنواخت < محدب

نکته دیگر اینکه شکل شیب در نوع فرسایش نیز تاثیر دارد. در شیب های کوتاه آبدوی تجمع پیدا نمی کند، بنابراین در شیب های محدب و مستقیم فقط فرسایش سطحی صورت می گیرد در حالی که شیب های مقعر معمولا آب را در کف آبراهه متمرکز می سازند و در نتیجه فرسایش خطی به وجود خواهد آمد.

۴-۳) نقش جهت شیب در فرسایش خاک :

شیب های آفتاب گیر معمولا نسبت به شیب های سایه گیر فرسایش بیشتری ایجاد می کنند، زیرا شیب های آفتاب گیر نسبت به شیب های سایه گیر گرمتر بوده و تبخیر بیشتری دارند، بنابراین ذخیره آب خاک کم شده، رشد پوشش گیاهی کمتر است و همین طور خاک نیز از تکامل پروفیلی کمتری برخوردار است. علاوه بر آن در شیب های آفتاب گیر تابش شدید خورشید با تجزیه مواد آلی هوموس را از بین می برد و در نتیجه خاک چسبندگی خود را از دست داده، مستعد فرسایش می شود.

با لحنی ساده تر، اینطور می توان بیان کرد که در کشور ما (و به طور کلی در نیمکره شمالی) میزان فرسایش در شیب های جنوبی بیشتر از شیب های شمالی بوده و شیب های شرقی شبیه شیب های شمالی و شیب های غربی شبیه شیب های جنوبی عمل می کنند. لذا به همین دلیل است که در شیب های شمالی شیب بحرانی را 8.8 درصد و در شیب های جنوبی، شیب بحرانی را 4.4 درصد در نظر می گیرند.

۴) پوشش گیاهی :

اثر پوشش گیاهی در کاهش فرسایش به نوع، ارتفاع، تراکم و مرحله رشد گیاه بستگی دارد.

در این مبحث بنده فقط به ارایه نتایج یک تحقیق بسنده می کنم. تحقیقی انجام شده و نشان داده است که در عرض یک ساعت در زمین جنگل ۸.۴ لیتر و در زمین کشاورزی ۱.۲۹ لیتر و در محیط خارج از جنگل ۰.۲۲ لیتر آب وارد خاک شده است. که این گویای این امر است که نفوذپذیری خاک جنگل ۴۰ برابر نفوذپذیری خاک غیر جنگلی می باشد.

۵) نحوه مدیریت و بهره برداری از اراضی :

روش های نادرست بهره برداری از زمین نیز سبب تشدید فرسایش می گردد. برخی از این روش ها عبارتند از : قطع بی رویه درختان، چرای بیش از حد، توسعه بی رویه اراضی دیم و شخم در جهت شیب

نکته ۱۰ : انواع فرسایش آبی

۱) فرسایش قطره بارانی یا پاشمانی Splash Or Raindrop Erosion

۲) فرسایش سفره ای یا ورقه ای یا صخره ای و یا صفحه ای Sheet Erosion

۳) فرسایش شیاری یا پنجه ای Rill Erosion

۴) فرسایش بین شیاری Inter Rill Erosion

۵) فرسایش خندقی Gully Erosion

۶) فرسایش توده ای Massive Erosion

۷) فرسایش کناری یا بالا رونده و یا سیلابی Stream bank Erosion

۸) فرسایش انحلالی یا شیمیایی Dissolution Erosion

۹) فرسایش اراضی بدخیم یا هزار دره Badland Erosion

۱۰) فرسایش تونلی

۱۱) فرسایش پا سنگی یا ستونی Redestad Erosion

۱) فرسایش بارانی :

فرسایش بارانی را فرسایش پرتابی نیز می گویند. فرسایش بارانی در اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک بوجود می آید. در واقع انرژی سنتیک قطرات باران در اثر برخورد به سطح خاک منجر به جدا شدن ذرات خاک از یکدیگر شده و نهایتا این ذرات بوسیله آب حمل می شوند.

بررسی ها نشان داده است که بین ذرات مختلف، ذرات با قطر بین ۶۳ تا ۲۵۰ میکرون بیش از همه جدا می شوند و ذرات با قطر ۱۲۰ میکرون به کمترین مقدار انرژی جنبشی برای جدا شدن نیاز دارند. و این جدا شدن انتخابی ذرات، باعث می شود که بافت خاک های پایین دست تغییر کند. مطالعات اخیر همچنین نشان داده است که قابلیت جدا شدن ذرات خاک در اثر قطرات باران بستگی به مقاومت برشی خاک دارد. وقتی خاکی به حالت اشباع در می آید مقاومت برشی خاک به حداقل می رسد، بنابراین در این حالت جدا شدن ذرات بیشتر می شود. همچنین قابلیت جدا شدن ذرات خاک در اثر قطرات باران به ارتفاع آب روی خاک نیز بستگی دارد. اگر ارتفاع آب در سطح خاک، از سه برابر میانگین قطر قطرات باران بیشتر شود پاشمان ناچیز خواهد بود. به همین دلیل مقدار فرسایش پاشمانی (پرتابی) در پای شیب ها به علت ضخیم بودن لایه آب در سطح خاک کم و در روی شیب ها به علت کم بودن ضخامت لایه آب بیشتر می باشد، در حالی که فرسایش ناشی از آبدوی در این دو محل کاملا بر عکس می باشد. و هر چه ضخامت لایه آب سطحی افزایش پیدا کند فرسایش حاصل از برخورد قطرات باران افزایش می یابد. دلیل این امر نیز تلاطمی است که در اثر برخورد قطرات باران بر روی سطح آب جمع شده بوجود می آید.

۲) فرسایش ورقه ای :

عامل عمده بوجود آمدن فرسایش ورقه ای، ضربه قطرات باران است. و بطور کلی در بوجود آمدن این نوع فرسایش دو عامل بیشترین تاثیر را دارند، اول فقدان پوشش گیاهی کافی برای جلوگیری از انرژی سنتیک قطرات باران و دوم وقوع رگبارهای شدید در فصول خشک.

فرسایش ورقه ای معمولا در اراضی با شیب کم اتفاق می افتد و می تواند در هر قسمتی از شیب صورت گیرد. بررسیها نشان داده است که در فرسایش ورقه ای که از باران های خفیف مداوم یا از ذوب تدریجی برف حاصل می شود معمولا ذرات ریز شسته می شوند، بنابراین در این حالت عمل فرسایش انتخابی است در حالی که در فرسایش حاصل از باران های شدید عمل انتخابی وجود ندارد. برای تعیین مقدار نسبی مواد ریز منتقل شده از یک خاک در اثر جریان آبدوی حاصل از یک بارش مداوم با شدت بارندگی کم یا آبدوی حاصل از ذوب تدریجی برف و یا فرسایش پاشمانی از رابطه d40 (1)/d40 (2) استفاده می شود که در آن d40 (2) قطر ذرات خاک در منحنی دانه بندی با فراوانی نسبی ۴۰ درصد در خاک طبیعی (فرسایش نیافته) و d40 (1) قطر ذرات در خاک فرسایش یافته می باشد.

هر چه نسبت d40 (2)/d40 (1) کوچکتر باشد نشان دهنده آنست که مواد ریز بیشتری از خاک خارج شده و خاک به صورت سنگریزه ای در می آید.

علایم فرسایش ورقه ای :

۱. تجمع خاک پای بوته ها یا کچلی مزرعه

۲. وجود لکه های سفید یا قهوای متمایل به قرمز در سطح خاک

۳. وجود سنگفرش بیابانی Desert Pavement یا جلای بیابانی Desert Varnish در سطح خاک

۳) فرسایش شیاری :

وقتی میزان فرسایش بیش از 15 ton/ ha.year باشد ما فرسایش شیاری را داریم که این فرسایش کمی پیشرفته تر از فرسایش ورقه ای است و عمده عامل تخریب، رواناب می باشد شیارها پس از بوجود آمدن، به طرف بالا دست و پایین دست خود گسترش می یابند. البته اکثر شیارها ابتدا با پسروی به طرف بالا دست گسترش می یابند. و نکته دیگر در مورد فرسایش شیاری این که در این فرسایش ما در منتهی الیه شیار بیشترین مقدار فرسایش خاک را داریم.

از علایم فرسایش شیاری، وجود شیارهای موازی یا در هم در روی شیب هاست. مجموعه شیارها گاهی به صورت پنجه ای است. در واقع در دامنه کوهها هر چه به طرف پایین تر برویم شیارها عمیق تر شده و به هم وصل می شوند و آبراهه بزرگتری به وجود می آورند. به این دلیل است که این نوع جمع شدن شیارها را فرسایش پنجه ای گویند.

برای کنترل فرسایش شیاری باید با انجام عملیاتی مانند شخم زدن و افزایش مواد آلی به خاک موجبات افزایش ظرفیت رطوبت در خاک را فراهم آورد و در نتیجه مقدار فرسایش را کاهش داد.

۴) فرسایش بین شیاری :

فرسایش بین شیاری در واقع نوعی از فرسایش ورقه ای است و عامل اصلی بوجود آورنده آن انرژی سنتیک قطرات باران است و معمولا فرسایش بین شیاری یک فرسایش انتخابی است و به تدریج بافت خاک در این نوع فرسایش بطرف سبک شدن پیش می رود. و ذرات انتقال یافته از زمین در فرسایش بین شیاری کوچکتر از ذرات منتقله به وسیله فرسایش شیاری است.

در خیلی از مدل های فیزیکی و ریاضی برای محاسبه فرسایش و رسوب، حوزه های آبریز را به شیاری و بین شیاری تفکیک می کنند.

۵) فرسایش گالی :

به این نوع فرسایش، فرسایش گودالی یا آبکند نیز می گویند که پیشرفته تر از فرسایش شیاری است. و فرسایش شیاری در منتهی الیه شیار به گالی تبدیل می شود. در واقع تفاوت فرسایش خندقی و شیاری در این است که در فرسایش خندقی عرض و عمق خندق ها خیلی با هم اختلاف ندارند، در حالی که در فرسایش شیاری عرض شیارها معمولا چندین برابر عمق آنهاست. نکته دیگر در مورد فرسایش گالی این که، دهانه گالی بی ثبات ترین قسمت گالی است.

طبقه بندی گالی ها :

در منابع مختلف گالی ها را به دو طریق طبقه بندی می کنند. یکی بر اساس عمق و مساحت حوزه آبخیز گالی و دوم بر اساس شکل گالی. ما در زیر به هر دو روش اشاره می کنیم

طبقه بندی گالی ها بر اساس عمق و مساحت حوزه آبخیز :

نوع گالی	عمق بر حسب فوت (1 FOOT=30 CM)	مساحت حوزه بر حسب ایکر (1 ACER=0.4 HA)
کوچک	کمتر از 3	کمتر از 5
متوسط	3-15	5-50
بزرگ	15یا بیشتر	50یا بیشتر

طبقه بندی گالی ها بر اساس شکل :

۱) **گالی های U شکل** : این شکل از گالی ها در مناطقی ایجاد می شوند که هم لایه های سطحی خاک و هم لایه های عمقی هر دو حساس به فرسایش باشند. نظیر رسوبات آبرفتی و رسوبات باد رفتی

بیشترین میزان فرسایش را نیز ما در همین گالی های U شکل داریم

۲) **گالی های V شکل** : گالی های هستند که لایه های سطحی حساس به فرسایش و لایه های عمقی نسبتا مقاوم به فرسایش دارند.

۳) **گالی های ذوزنقه ای** : در مناطقی ایجاد می شوند که لایه های سطحی حساس و لایه های زیرین مقاوم به فرسایش (مثلا : سازندهای کنگلومرا و یا گرانیتی) باشند.

خندق ها را می توان با کشت گیاه یا احداث بند یا ترکیب آنها کنترل کرد. که البته کنترل و احیای خندق ها بوسیله استقرار پوشش گیاهی به احداث بند ترجیع داده می شود. بندها چه از نظر طراحی و اجرا و چه از نظر نگهداری هزینه های بالای را تحمیل می کنند ولی نکته مهم اینکه بندها علاوه بر اینکه مسیل ها را کنترل می کنند با بالا آوردن کف رودخانه در نتیجه رسوب گذاری از تخریب کناره های بستر نیز جلوگیری می کنند.

در طراحی بند برای کنترل فرسایش خندقی یک حوزه، بعد از مطالعاتی که انجام می گیرد بند اصلی در قسمت پایین دست خندق، در محلی که دیواره های خندق محکم است احداث می شود. بندهای دیگر به فواصلی از آن در بالای خندق ساخته می شوند. فاصله بین بندها به شیب آبراهه (شیب اولیه)، شیب حد (شیب ثانویه) و ارتفاع موثر بند بستگی دارد.

فاصله بین بندها از رابطه زیر بدست می آید :

$$S = H / (P - i)$$

S : فاصله بندها بر حسب متر

H : ارتفاع موثر بند (ارتفاع بند از کف خندق تا تاج سر ریز) بر حسب متر

P : شیب آبراهه بر حسب متر در متر

i : شیب حد (شیب رسوباتی که انتظار می رود در بالا دست بند جمع شود) بر حسب متر در متر.

گاهی مواقع شیب حد را معادل ثلث (یک سوم) شیب طبیعی آبراهه (P) در نظر می گیرند.

تعداد بندها در یک خندق نیز از رابطه زیر بدست می آید :

$$N = L ((P - i) / H) \quad \text{Or} \quad N = L / S$$

در فرمول بالا :

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 موثر بند بر حسب متر

۶) فرسایش توده ای :

این فرسایش عبارت است از حرکت حجم عظیمی از توده های خاک یا سنگ یا مجموع آنها به طرف پایین شیب، در اثر نیروی ثقل. این نوع فرسایش در واقع موقعی رخ می دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک باشد.

حرکت توده ای خاک معمولا به سه شکل متفاوت است که عبارتند از ریزش توده های خاک، لغزش خاک و جریان گل (لازم به ذکر اینکه در برخی از منابع در دسته بندی انواع فرسایش، این سه نوع فرسایش را جدا دسته بندی کرده، که ما در اینجا همه را تحت عنوان فرسایش توده ای دسته بندی کرده و بحث می کنیم)

۶-۱) ریزش توده های خاک :

این فرسایش معمولا در شیب های تند (معمولا متجاوز از ۴۵ درجه) و کنار رودخانه ها رخ می دهد

۶-۲) لغزش خاک یا زمین لغزه Landside :

زمین لغزه، لغزش توده خاک یا سنگ یا مجموعه آنها در اثر نیروی جاذبه می باشد. بیشتر زمین لغزه ها مربوط به خاک های رسی یا چسبنده است و بندرت می توان در طبیعت شرایطی را یافت که زمین لغزه در خاک های غیر چسبنده رخ داده باشد.

برای رخ دادن زمین لغزه سه شرط لازم است. اول اینکه شیب باید به اندازه کافی تند باشد تا توده خاک بتواند بلغزد، دوم اینکه در عمق خاک یک لایه غیر قابل نفوذ یا با نفوذپذیری کم وجود داشته باشد (این لایه می تواند یک Clay Pan و یا یک مارن میوسن باشد)، سوم اینکه در لایه سطحی خاک، آب به مقدار کافی وجود داشته باشد. سرعت لغزش به درجه شیب زمین و جنس لایه زیرین بستگی دارد.

در زیر در مورد عوامل موثر در وقوع زمین لغزه ها بحث می کنیم.

عوامل موثر در زمین لغزه ها در واقع عواملی هستند که در ناپایداری شیب موثرند. شیب یک تپه هنگامی ریزش می کند که مقدار نیروهای تنش برشی در هر صفحه ای از مقطع خاک بیشتر از مقاومت برشی خاک در این صفحه باشد. در واقع در یک شیب، پایداری توده خاک در مقابل زمین لغزه را می توان به صورت زیر بیان نمود.

$$F=S/t$$

در فرمول بالا؛ F ضریب اطمینان، S مقاومت برشی در صفحه برش و t تنش برشی ایجاد شده در این صفحه می باشد. بنابراین در صورتی لغزش رخ می دهد که F کوچکتر و یا مساوی یک باشد و اگر F بزرگتر از یک باشد. خاک پایدار خواهد ماند.

با توجه به مطالب بالا عوامل موثر در ناپایداری شیب ها بر دو نوعند :

۱) عواملی که باعث بالا رفتن تنش برشی در خاک می شوند

این عوامل عبارتند از :

الف) از بین بردن مقاومت های جانبی مانند فرسایش کناره ای در رودخانه ها، حفر آبراهه در شیب تپه ها، حفاری ها برای بهره برداری از معادن و همین طور جاده سازی های غلط

ب) زمین لرزه ها، هوازدگی و انحلال مواد در آبهای زیرزمینی، فرسایش زیر زمینی.

ج) فشارهای جانبی از قبیل فشار ناشی از آبهایی که در شکاف های عمودی خاک نفوذ می کند، یخبندان آب در درز و شکاف خاکها.

۲) عواملی که باعث کم شدن مقاومت خاک در مقابل نیروهای برشی می شوند

این عوامل عبارتند از :

الف) خصوصیات خاک مانند بافت، ساختمان وجود درز و شکاف.

ب) انقباض و انبساط در اثر حرارت، هیدراسیون کانی های رس، شسته شدن املاح خاک.

علاوه بر عوامل سابق الذکر، پوشش گیاهی نیز به صورت های مختلف در وقوع زمین لغزه اثر دارد که در ادامه به آن می پردازیم.

۶-۳) سیلان گل Mudflow :

این نوع حرکت را جریان گل، سنگ گل و بهمن گل نیز می نامند. مکانیزم به وجود آمدن این نوع فرسایش به این ترتیب است که در مناطق مرتفع در اثر باران و یا ذوب برفها ممکن است آب با خاک و مواد درشت تر به صورت گل در آمده، و به کندی به طرف پایین شیب حرکت کند، حرکت آن بیش از آنکه در اثر لغزش یا ریزش به طرف پایین باشد تحت تاثیر حرکت بین ذرات است، به عبارت دیگر حرکت در اثر جابجایی ذرات است. بنابراین توده گل بدون ایجاد شکستگی در سطح خود تقریبا شکال زمین را به خود می گیرد. سرعت حرکت این توده گل نسبت به سرعت زمین لغزه کمتر است.

جریان گل در واقع نه مایع است و نه جامد بلکه حالت بینابینی دارد و به دلیل جرم حجمی زیادش قادر است سنگهای خیلی بزرگ را حتی در شیب های کم (حدود ۵ درجه) صدها متر حمل کند. بنابراین سیلان گل قادر است مقدار

زیادی مواد ریز و درشت را در اراضی شیب دار به پایین حمل کند و به این ترتیب می تواند در مسیر خود خسارت وارد سازد.

این نوع فرسایش بیشتر در مناطقی که غالبا یخ زده هستند مانند توندرا یافت می شود. در واقع در این مناطق در تابستان یخ توده خاک در زیر پوشش چمنی ذوب شده و توده گل ضخیمی را به وجود می آورد که به صورت سیالی به طرف پایین حرکت می کند.

۷) فرسایش کنار رودخانه ای :

این نوع فرسایش معمولا در دیواره های نهرها و رودخانه ها انجام می گیرد. این فرسایش در امتداد کناره ها و بستر نهرهای دایمی همواره فعال است، در حالی که فرسایش های دیگر فقط در حین بارندگی و یا کمی پس از شروع آن فعال هستند. در این نوع فرسایش ما بیشترین تخریب و از بین رفتن خاک را در قسمت های خارجی خمیدگی های رودخانه ها و نهر ها می بینیم.

<u>قدرت تخریبی این نوع فرسایش به عوامل زیر بستگی دارد</u>

۱) سرعت جریان آب : هر چه سرعت جریان آب افزایش یابد، قدرت تخریب بیشتر می شود.

۲) تلاطم جریان آب : هر چه آب رودخانه متلاطم تر باشد قدرت تخریب نیز بیشتر می شود.

۳) وزن مخصوص ذرات : هر چه جرم مخصوص بالاتر برود فرسایش شدید تر می شود.

۴) قطر ذرات خاک : هر چه قطر ذرات خاک ریزتر و حساس تر باشد، فرسایش راحت تر اتفاق می افتد.

۵) قدرت چسبندگی ذرات خاک : هر چه چسبندگی ذرات خاک کمتر باشد فرسایش بیشتر است.

۶) درجه زبری و موانع موجود در جریان آب : اگر رودخانه مانع یا پوششی داشته باشد یا سنگلاخی باشد از سرعت آب کم می شود و مانع از فرسایش کناری می شود.

معمولا ما بیشترین فرسایش کناری را در رودخانه های که در مسیر رسوبات آبرفتی و باد رفتی حرکت می کنند، می بینیم.

۸) فرسایش انحلالی یا شیمیایی :

این نوع فرسایش بیشتر در مناطقی صورت می گیرد که سطح زمین از لایم استون (سنگ آهک) که در آب از حلالیت بالایی برخوردار است، پوشیده شده باشد. مهمترین حلال لایم استون، اسید کربنیک است که در اثر حل شدن دی اکسید کربن هوا در آب های سطحی حاصل می شود. آب حاوی اسید کربنیک در اثر نفوذ، حفره هایی در زمین به وجود می آورد. که علت حفره حفره شدن سطح زمین، انحلال نابرابر لایم استون در قسمت های مختلف سطح زمین می باشد.

به این نوع فرسایش، فرسایش شبه کارستی نیز می گویند. که عمق حفرات ایجاد شده ناشی از انحلال کانی ها زیاد نیست. ولی فرسایش انحلالی بصورت کارست هم داریم که عمق حفرات ایجاد شده در این نوع فرسایش عمیق تر می باشد (بطور مثال: دولین، یک نوع کارست با حفرات عمیق می باشد). بطور کلی ما فرسایش های انحلالی را به طور واضح در منطقه زاگرس می بینیم. و به عقیده بسیاری از دانشمندان وجود کارست و شبه کارست در زاگرس بخاطر غنی سازی سفره های آب زیر زمینی یک نعمت است.

۹) فرسایش هزار دره :

این نوع فرسایش معمولا در زمینهای که فاقد پوشش گیاهی بوده و همچنین دارای سازندهای حساس به فرسایش می باشد، اتفاق می افتد. فرسایش بدلند یا هزار دره در واقع مرحله گسترده فرسایش خندقی است، بدین معنی که هرگاه تعداد خندق ها در هر کیلومتر مربع از زمین بیش از ۷۰ عدد باشد و یا طول آنها در هر کیلومتر مربع زمین بیش از ۱۰ کیلومتر باشد، فرسایش خندقی به فرسایش بدلند تبدیل می شود.

در کشور ما این نوع فرسایش بیشتر بر روی سازند های مارنی و گچی نمکی ایجاد می شود. و به علت وجود گچ و نمک زیاد که اغلب کلرور سدیم است احیاء این اراضی بوسیله پوشش گیاهی تقریبا غیر ممکن است و بهترین کار در این اراضی، جلوگیری از ورود دام می باشد.

۱۰) فرسایش تونلی :

به این فرسایش آبراهه های زیر زمینی نیز گفته می شود. و هنگامی اتفاق می افتد که ما در سطح زمین یک خاک نفوذپذیر و در زیر آن یک لایه غیر قابل نفوذ و یا با نفوذپذیری کم داشته باشیم و بین این دو یک لایه حساس به فرسایش وجود داشته باشد. همچنین این نوع فرسایش در اراضی که بین افق A و B خاک از نظر مقدار رس تفاوت فاحشی وجود داشته باشد (مثلا، بافت لایه A لوم شنی تا لوم رسی و بافت لایه B از رس تشکیل شده است) نیز اتفاق می افتد.

۱۱) فرسایش پا سنگی یا ستونی :

گاها در طبیعت اتفاق می افتد که تخته سنگی روی سطح زمین وجود دارد و وقتی این فرسایش اتفاق می افتد خاکهای زیر تخته سنگ حفظ می شوند ولی خاکهای بین تخته سنگها از بین می رود و یک حالت ستونی با فواصل مشخص روی سطح زمین می ماند و گاهی مواقع عوام به این ستون ها دودکش جن می گویند. این فرسایش به ما نشان می دهد که چه عمقی از خاک دستخوش فرسایش شده و ما می توانیم به طور تقریبی ضخامت خاک فرسایش یافته را بدست آوریم.

نکته ۱۱ : در زیر قصد داریم مراحل فرسایش را شرح دهیم. یعنی بعد از خرد شدن خاکدانه ها بر اثر انرژی سنتیک قطرات باران و از بین رفتن پیوند بین ذرات، این ذرات آماده انتقال می شوند. در اینجا سه مرحله طی می شود و در واقع به این مبحث می توان چرخه فرسایش خاک اطلاق کرد.

۱) مرحله برداشت Ablatation

۲) مرحله حمل Trans port

۳) مرحله رسوب یا تجمع Accumulation

در مرحله برداشت، ذرات جدا شده به راحتی توسط رواناب برداشته شده و به داخل آبراهه ها حمل می شوند. که حمل این مواد فرسایشی به داخل آبراهه و یا رودخانه ها از قوانین هیدرولیک تبعیت می نماید. که در زیر به ان می پردازیم.

قانون اول : مطالعات نشان داده است که، اندازه ذراتی که بوسیله جریان رودخانه حمل می شود که به آن قدرت جریان Competance می گویند به توان ششم سرعت جریان آب بستگی دارد.

$$\text{قدرت جریان} = C.V^6$$

C : ضریب جریان (به جنس رودخانه بستگی دارد)

V : سرعت جریان

به طور مثال؛ اگر احیانا سرعت جریان رودخانه دو برابر شود اندازه ذراتی که می تواند حمل نماید (طبق فرمول) ۶۴ برابر می شود.

لازم می دانم که یک بار دیکر یادآور شوم که قدرت جریان، اندازه ذراتی است که بوسیله جریان رودخانه حمل می شوند.

فرمول دوم : وزن ذرات معلق در آب، که به آن قدرت حمل Carring Power می گویند. مطابق فرمول زیر است

$$\text{قدرت حمل} = C.V^5$$

طبق تعریف، قدرت حمل با توان پنجم سرعت جریان آب رابطه مستقیم دارد. یعنی اگر سرعت جریان رودخانه دو برابر شود قدرت حمل ۳۲ برابر می شود.

فرمول سوم : بین متوسط سرعت جریان آب با عمق آن که با D نشان می دهیم رابطه ای به شکل زیر برقرار است

$$V = C.D^2$$

در اینجا اگر عمق جریان دو برابر شود سرعت متوسط ۴ برابر می شود

حال با آشنا شدن با فرمول های بالا، می توانیم پی ببریم که چرا در قسمت های انتهایی گالی فرسایش و تخریب شدیدتر است. فقط برای یادآوری به این نکته اشاره می کنم که در قسمت های انتهایی گالی عمق بیشتر است.

نهایتا موادی که بوسیله رودخانه در حال حمل می باشند با کاهش سرعت که بر می گردد به تغییر شیب، رسوب می کنند. رسوب گذاری بدین ترتیب است که ابتدا ذرات درشت (با توجه به جرم مخصوص آنها) رسوب کرده و در ادامه ذرات ریزتر تهنشین می شوند. و نهایتا رسوبات به صورت یک مخروط افکنه گذاشته می شوند که به آن Alluvial Fan می گویند. راس مخروط افکنه به سمت حوزه آبخیز و قاعده آن به سمت دشتها و نواحی پست اطراف می باشد و ما در راس مخروط افکنه ذرات درشت تهنشین شده را داریم و هر چه به سمت قاعده پیش می رویم ذرات تهنشین شده ریز تر می شوند. نکته دیگر اینکه راس این مخروط افکنه ها محل مناسبی برای پخش سیلاب و ایجاد پوشش های مرتعی می باشد و قاعده مخروط افکنه عرصه خوبی برای کشاورزی آبی است.

نکته دیگر اینکه، هر چه غلظت اجزاء (شن، سیلت و رس) در واحد حجم رواناب زیادتر باشد. در نتیجه در طول مسیر کمتر رسوبات گذاشته می شوند و هر چه غلظت اجزاء کمتر باشد مسیر طولانی تری برای رسوب تمامی اجزا طی خواهد شد.

۞**نکته ۱۲** : چگونگی حرکت مواد در داخل رودخانه ها :

مواد در داخل رودخانه ها به سه طریق حرکت می کنند.

۱) مواد معلق Suspension

مواد معلق، موادی هستند که در داخل رودخانه به حالت معلق هستند بدون اینکه با کف رودخانه در تماس باشند و معمولا جرم مخصوص این مواد کم است مواد معلق ممکن است رس یا سیلت و یا شن ریز باشند. البته مقدار مواد معلق به جنس سازندهای حوزه آبخیز بستگی دارد اگر سازندها نرم باشد قسمت عمده مواد ما معلق می شوند.

۲) مواد جهشی Saltation

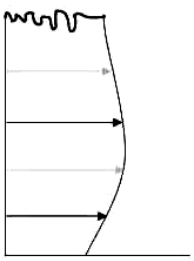
در این حالت مواد جامد تحت تاثیر چگونگی حرکت آب و تغییرات دایمی فشار در نقاط مختلف بصورت جهشی حرکت می کنند و معمولا مقدار آنها خیلی زیاد نیست و این مواد دایم با کف رودخانه در تماس نیستند.

۳) مواد کف بستر Bed load

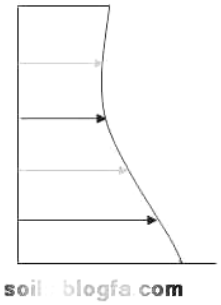
موادی که همیشه در تماس با بستر رودخانه بوده و بوسیله فشار آب به جلو حرکت می کنند. معمولا گراول ها و سنگریزه های که کروی می شوند این مواد را شامل می شوند.

در کشور ما در ایستگاههای رسوب سنجی عمدتا بار معلق اندازه گیری می شود و بار جهشی و کف بستر بدلیل سخت بودن اندازه گیری در این ایستگاهها، اندازه گیری نمی شود. و تخمین زده می شود که مواد جهشی و کف بستر ۱۵-۱۰ درصد کل مواد را تشکیل می دهند. ولی اگر در حوزه آبخیز سازندهای درشت (کنگلومرا، گرانیت) داشته باشیم. ممکن است مواد جهشی و کف بستر بخش قابل ملاحظه ای از بار رسوبی را تشکیل دهند.

۞**نکته ۱۳** : در رودخانه مولفه سرعت به صورت زیر است.



یعنی در سطح آب، سرعت کم و در قسمت میانه (بین کف و سطح آب رودخانه) سرعت بیشترین و در کف بستر رودخانه سرعت آب کم است. اما مولفه غلظت برعکس سرعت بوده یعنی مطابق شکل زیر ما بیشترین غلظت مواد را در رودخانه در قسمت مرکزی داریم و در سطح و کف رودخانه کمترین غلظت مواد را داریم.



۞نکته ۱۴ : معادله جهانی فرسایش خاک Universal Soil Loss Equation (USLE) :

اولین معادله ای که برای تخمین فرسایش در یک شیب پیشنهاد شد معادله زینک بود که در آن تنها دو عامل درجه و طول شیب در نظر گرفته شده بود. بعدها آقای ماسگریو عامل آب و هوا و اسمیت عامل پوشش گیاهی را دخالت دادند. سپس به تدریج فرمول های تهیه شد و پیش بینی فرسایش را بر اساس داده های معینی امکان پذیر ساخت. آخرین و بهترین فرمول برای تخمین فرسایش خاک، فرمول ویشمایر و اسمیت است، که پس از حدود ۲۰ سال مطالعه در مورد فرسایش آبی در ۴۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالت مختلف آمریکا با شرایط مختلف جغرافیایی و آب و هوایی و با در نظر گرفتن نتایج بررسی های دیگران به دست آمده است. این معادله که به فرمول جهانی فرسایش خاک معروف است به صورت زیر می باشد.

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

در فرمول جهانی فرسایش خاک تاثیر هر کدام از عوامل موثر در فرسایش خاک را با یک عدد مشخص می کنند. میزان فرسایش از حاصل ضرب این اعداد بدست می آید که به صورت کمی است. در این فرمول :

A : مقدار خاک فرسایش یافته بوسیله فرسایش ورقه ای و شیاری بر حسب جرم در واحد سطح و در واحد زمان است. که در سیستم انگلیسی بر حسب تن در ایکر در سال و در سیستم متریک تن در هکتار در سال می باشد.

R : عامل بارندگی است که قدرت فرسایندگی باران را نشان می دهد.

K : ضریب فرسایش پذیری خاک است. عددی است که حساسیت ذاتی خاک را مشخص می کند.

L : عامل طول شیب است و عبارت است از نسبت فرسایش در طول شیب به فرسایش در همان زمین و همان شیب ولی با طول ۷۲.۶ فوت یا ۲۲.۱ متر .

S : عامل شیب زمین است و عبارت است از نسبت فرسایش در شیب موجود در زمین به مقدار فرسایش در همان زمین و همان طول ولی با شیب ۹ درصد (یا ۵ درجه).

C : عامل پوشش گیاهی است و عبارت است از فرسایش حاصل شده در زمینی با پوشش گیاهی مشخص نسبت به مقدار فرسایش در شرایط پوشش و مدیریت کرت استاندارد که در جهت شیب شخم خورده است.

(کرت استاندارد یا مبنا و یا شاهد؛ کرتی است فاقد پوشش،که در جهت شیب شخم خورده و به صورت آیش دایمی می باشد. مساحت این کرت 0.01 ایکر، شیب آن ۹ درصد و عرض آن ۶ فوت یا ۱.۸۳ متر بوده و طول آن ۷۲.۶ فوت یا ۲۲.۱۳ متر می باشد.)

P : عامل حفاظت خاک بوده و عبارت است از نسبت فرسایش یک زمین حفاظت شده به مقدار فرسایش همان زمین که هیچ گونه عملیات حفاظتی در آن انجام نگرفته است یعنی کشت و کار در امتداد ردیف های شیب است.

در زیر طریقه محاسبه هر یک از پارامتر های بالا را شرح می دهیم.

۱) عامل بارندگی (R) :

عامل بارندگی در واقع همان شاخص فرسایش ویشمایر ($E.I_{30}$) است که در مباحث قبل به آن پرداختیم .

۲) عامل فرسایش پذیری خاک (K) :

مقدار K برابر است با نسبت فرسایش به عامل بارندگی در یک کرت استاندارد یعنی :

$$K = A / R$$

در شرایط کرت استاندارد مقدار عددی هر یک از عوامل L.S.C.P برابر واحد بوده و مقدار فرسایش مستقیما متناسب با فرسایندگی باران و فرسایش پذیری خاک خواهد بود. $A = R.K$

آقای ویشمایر و همکارانش با آزمایش های متعدد توانستند همبستگی خوبی را بین عامل فرسایش پذیری خاک (K) و ۵ عامل فیزیکی خاک یعنی درصد سیلت (0.002-0.05 mm) + شن خیلی ریز (0.05-0.1 mm)، درصد شن (0.1-2 mm)، مقدار مواد آلی، ساختمان خاک و نفوذ پذیری خاک بدست آورند. تمامی فاکتور های ذکر شده در بالا را در لایه سطحی خاک (15-20 Cm) و مقدار نفوذ پذیری در تمامی نیمرخ خاک اندازه گیری می شود.

نهایتا آقای ویشمایر برای محاسبه K یک نموگراف ارایه کرد. همین طور آقای ویشمایر برای محاسبه K فرمولی نیز تهیه کرد. که پرداختن به آن در این مقال نمی گنجد.

برای محاسبه K در شرایط کشور ما بر اساس نموگراف ویشمایر برخی ایرادات بوجود می آید.

۱) در آزمایشاتی که اقای ویشمایر و همکارانش برای محاسبه K انجام دادند از باران های خاص مناطق شرق آمریکای مرکزی که باران های با شدت ۶۳.۵ میلیمتر در ساعت است به مدت ۲ ساعت متوالی اعمال گردیده است. در حالی که در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، چنین بارندگی های غیر محتمل است. بنابراین به نظر می رسد که اعداد پیدا شده بوسیله این فرمول برای چنین مناطقی ضریب K را بیشتر از مقدار واقعی نشان بدهد.

۲) ابداع رابطه و نمودار ویشمایر در مناطق نیمه مرطوب ایالات متحده آمریکا در خاکهایی انجام پذیرفته که تقریبا عاری از آهک بودند. که فراوانی آهک در مناطق خشک و نیمه خشک کشور ما منجر به بزرگ شدن عدد K می شود.

۳) عامل طول شیب (L) :

هر چه طول شیب زیادتر باشد شدت فرسایش بیشتر می شود.

فرسایش در طول شیب یکنواخت نیست و در قسمت های انتهایی بیشتر است. برخی از تحقیقات نشان داده است که مقدار فرسایش در انتهای طول شیب ۱.۵ برابر متوسط فرسایش طول شیب است.

بین طول شیب و فرسایش رابطه ای به شکل زیر وجود دارد.

عامل طول شیب (L) را می توان از رابطه روبرو بدست آورد. $L = (\lambda / 22.1)^m$

در فرمول بالا λ طول شیب زمین بر حسب متر و m توان می باشد. که مقدار آن به شیب زمین بستگی دارد و مقدار آن برای شیب های ۵ درصد و بیشتر برابر ۰.۵ ، برای شیب های ۵-۳ درصد برابر ۰.۴ ، برای شیب های ۳-۱ درصد برابر ۰.۳ و برای شیب های کمتر از یک درصد برابر ۰.۲ می باشد.

۴) عامل درجه شیب (s) :

رابطه ای بین درصد شیب و فرسایش نیز به شکل زیر وجود دارد.

آقای ویشمایر در سال 1950 رابطه بین شیب و فرسایش را مطابق فرمول زیر بدست آورد.

$$1)\ E = 0.43 + 0.3\ S + 0.043\ S^2$$

S : درصد شیب زمین مورد نظر

2) S = فرسایش در شیب کرت مبنا/ فرسایش در شیب مورد نظر

حال اگر فرمول یک را در فرمول دو جایگزین کنیم معادله ای به شکل زیر بدست می اید که برای محاسبه درجه شیب از آن استفاده می شود.

$$S = 0.065 + 0.045\ S + 0.0065\ S^2$$

۵) عامل پوشش گیاهی (C) :

عامل C عبارت است از نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیر کشت به خاک فرسوده شده از همان قطعه در طی یک آیش مداوم و عاری از پوشش یا باقی مانده گیاهی.

میزان فرسایش در یک زمین دایما لخت در حال آیش (مقادیر C و P برابر یک است) برابر است با A = R.K.L.S ، حال اگر همین قطعه زمین را زیر کشت ببریم بدیهی است که خاک از بین رفته خیلی کمتر از مقدار فوق خواهد بود. نسبت خاک از بین رفته در این دو حالت نشان دهنده مقدار عامل C خواهد بود.

مقدار عامل C تحت تاثیر نوع گیاه، تعداد بوته در واحد سطح، مقدار بقایای نباتی، درصد پوشش خاک توسط آسمانه گیاهی (درصدی از کل سطح خاک که در تصویر قایم شاخ و برگ گیاهی از دید پنهان می ماند پوشش آسمانه گیاهی نامیده می شود) و ترتیب کشت در تناوب قرار می گیرد.

یکی از مشکلات عمده فرمول جهانی در کشور ما همین محاسبه C می باشد که در اثر تحقیق تعیین نمی شود. و بیشتر بر اساس تجربه و یا شاید حدس و گمان براورد می شود. در کل تعیین مقدار عامل C از پیچیده ترین عوامل می باشد.

۶) عامل حفاظت خاک (P) :

عامل حفاظت خاک عبارت است از نسبت مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت بوده و در جهت بالا و پایین تندترین شیب شخم زده شود. در اینجا منظور از کارهای حفاظتی بیشتر کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس بندی است. البته عملیات حفاظتی دیگر مانند تناوب های حاوی علوفه، کود دادن، قرار دادن بقایای نباتی در سطح زمین و غیره مربوط به عامل مدیریت زراعی (C) می باشند.

در بین عملیات حفاظتی، اثر کشت نواری در کاهش مقدار فرسایش از شخم و کشت در روی خطوط تراز بیشتر است. و مقدار P در کشت نواری تابعی از درجه و طول شیب و نوع تناوب می باشد.

برخی ایرادات بر فرمول جهانی فرسایش خاک که توسط آقای ویشمایر ارایه شد وارد است که در زیر به آنها اشاره می کنیم.

۱) معادله جهانی فرسایش برای تخمین فرسایش ورقه ای، شیاری و بین شیاری به کار می رود و در تخمین فرسایش خندقی یا مسیل نهرها به کار برده نمی شود.

۲) فرمول جهانی فرسایش فقط برای پیش بینی فرسایش در خاکهایی که با کشاورزی در ارتباط می باشند به کار می رود و در کارهای غیر کشاورزی مانند میادین، پارک ها و غیره که برای آنها ضریب C تعیین نشده است، توصیه نمی شود.

۳) معادله فرسایش خاک برای پیش بینی فرسایش ناشی از آب حاصل از ذوب شدن برف به کار نمی رود زیرا R فقط مربوط به فرسایندگی باران است.

۴) از روی معادله فرسایش نمی توان میزان رسوب انتقال یافته به وسیله نهرها و همچنین رسوبات جمع شده در پشت مخازن را تخمین زد.

۵) استفاده از معادله جهانی فرسایش در تخمین فرسایش اراضی مرتعی و جنگلی در مقایسه با استفاده از آن در تخمین فرسایش اراضی زراعی فاقد دقت لازم است.

۶) این فرمول منطقه مورد مطالعه را یکنواخت فرض می کند.

۷) معادله جهانی تلفات خاک قادر به محاسبه تلفات خالص خاک نیست بلکه میزان کل فرسایش یا فرسایش ناخالص را محاسبه می نماید. و به نوعی دیگر این مدل قادر به دادن اطلاعات در مورد میزان رسوب گذاری نیست.

تلفات خالص، عبارت است از تلفات خاک منهای رسوب گذاری خاک در همان محل.

۸) در کشور ما این فرمول علاوه بر معایب ذکر شده در بالا در دارای مشکلات دیگری نیز می باشد مثلا

ما در کشور بدلیل نداشتن ایستگاه های سینوپتیک کافی در محاسبه میزان R با مشکل روبرو هستیم. همین طور در مورد فاکتور C ، که در کشور برای هیچ منطقه ای فاکتور C را تعیین نکردیم.

نکته ۱۵ : با توجه به این که در مبحث قبل پیرامون معادله جهانی فرسایش خاک صحبت شد مناسب دیدیم که در زیر انواع مدل ها و معادلات مطرح شده در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب را توضیح دهیم.

۱) مدل Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) :

معادله جهانی هدر رفت خاک (USLE) برای براورد میزان تلفات خاک از یک قطعه زمین و یا در طول یک شیب ارایه شده است و با استفاده از آن نمی توان میزان رسوبدهی حوزه های آبخیز را تخمین زد. به منظور محاسبه مقدار رسوب بر اساس این معادله، آقای ویلیامز و برنت، ضریب نسبت تحویل رسوب را معرفی نمودند. نسبت تحویل رسوب به خصوصیات حوزه (فیزیوگرافی و زهکشی)، ویژگیهای رخدادهای اقلیمی و کاربری اراضی بستگی دارد.

آنها اعتقاد داشتند که برای استفاده از معادله در سطح حوزه بایستی روش محاسبه تمام عوامل آن به استثنای عامل فرسایندگی باران (R) تغییر نماید. بررسی های بعدی نشان داد که رابطه بین عوامل فرسایندگی و میزان تولید رسوب غیر خطی و ضعیف می باشد. بنابراین به علت متغیر بودن نسبت های تحویل رسوب محاسبه شده و غیر خطی بودن رابطه بین R و میزان تولید رسوب، عامل بارندگی مدل با عامل رواناب جایگزین گردید. با جایگزینی عامل بارندگی توسط عامل رواناب، دیگر ضرورتی به استفاده از نسبت تحویل رسوب در معادله جهانی وجود نخواهد داشت. شکل کلی مدل MUSLE که در آن نقش رواناب شاخص می باشد و از آن می توان برای محاسبه رسوب سالیانه بهره جست به صورت زیر می باشد.

$$A = 95\,(Q.q_P)^{0.56}\,KLSCP$$

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

Q : حجم رواناب بر حسب ایکر- فوت

q_P : شدت حداکثر رواناب بر حسب فوت مکعب بر ثانیه

P، C، S، L و K : در معادله جهانی تعریف شده اند.

این معادله در سیستم متریک به صورت زیر می باشد.

$$A = 11800\,(Q.q_P)^{0.56}\,KLSCP$$

A : مقدار رسوبدهی یک رویداد بر حسب کیلوگرم

Q : حجم رواناب بر حسب متر مکعب

q_P : شدت ماکزیمم رواناب بر حسب متر مکعب بر ثانیه

۲) مدل Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) :

مدل USLE از دهه ی ۱۹۷۰ به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است. از ابتدای دهه ۱۹۹۰ USLE مورد تجدید نظر قرار گرفته و اطلاعات آن به روز گردیده، به صورت رایانه ای در آمده و سبب ارایه مدل براورد فرسایش تحت نام RUSLE گردیده است. RUSLE از همان عوامل اساسی USLE که قبلا به آن پرداختیم استفاده می کند. اما تعاریف و روابط متقابل در آن بهتر تشریح شده و سبب بهبود صحت براورد فرسایش خاک شده است. RUSLE یک برنامه نرم افزاری رایانه ای می باشد که با کسب تجارب بیشتر در کاربرد آن در جهان به طور مداوم اصلاح و تغییر می یابد. با توجه به اینکه مدل USLE فقط در اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می گرفت مدل RUSLE وابسته به نوع استفاده از اراضی است. یعنی هم در اراضی کشاورزی و هم در اراضی منابع طبیعی قابلیت استفاده دارد که به آن Land Use Dependent و این مدل Single Erent است و می تواند مقدار فرسایش را برای هر رخداد حساب کند.

اختلافات عمده ی که بین USLE و RUSLE وجود دارد در جدول زیر آمده است.

عامل	رابطه ی جهانی فرسایش USLE	رابطه ی جهانی فرسایش تجدیدنظر شده RUSLE
R	بر اساس شرایط بارش متوسط برای مناطق جغرافیایی خاص در امریکا می باشد.	معمولا همانند USLE در شرق آمریکا می باشد، اما مقادیر R در غرب آمریکا بر اساس اطلاعات از ایستگاه های هواشناسی بیشتری بوده و بنابراین، برای هر نقطه خاص به مراتب دقیق تر است. RUSLE برای بیان اثر ضربات باران بر روی آب تجمع یافته سطحی در مناطق مسطح یک ضریب اصلاحی برای R محاسبه می کند.
K	بر اساس بافت خاک، میزان ماده آلی، نفوذپذیری و سایر عوامل ذاتی مربوط به نوع خاک می باشد.	همانند USLE اما برای منظور نمودن تغییرات فصلی مانند یخ زدن و ذوب آن، رطوبت خاک و تثبیت خاک تنظیم و تعدیل یافته است.
LS	بر اساس طول و تندی شیب بدون توجه به کاربری اراضی می باشد.	این دو عامل USLE با توجه به معادلات جدید براساس نسبت فرسایش شیاری به بین شیاری بهبود یافته و برای استفاده در شیب های مرکب تطابق یافته است.
C	براساس توالی کشت و کار، بقایای سطحی، ناهمواری سطحی و پوشش آسمانه می باشد که با توجه به درصد توزیع بارندگی فرساینده طی ٦ مرحله رشد نبات استوار است. این عوامل به هم در جدول نسبت هدر رفت خاک در عملیات کشت و کار و خاکورزی آمده اند	از عوامل فرعی مانند کاربری قبلی، پوشش آسمانه، پوشش سطحی، ناهمواری سطحی و رطوبت خاک استفاده می کند. با تقسیم هر سال تناوب در فواصل ۱۵ روزه و محاسبه نسبت هدر رفت خاک برای هر دوره سبب اصلاح USLE شده است. هر زمان که عملیات خاکورزی یکی از عوامل فرعی را تغییر دهد نسبت هدر رفت خاک مجددا محاسبه می شود. RUSLE براوردهای بهتری از تغییرات هدر رفت خاک را در سراسر سال به خصوص در ارتباط پس مانده های سطحی و نزدیک سطح خاک و اثرات اقلیم در تجزیه پس مانده های گیاهی ارایه می دهد.
P	براساس اجرای عملیات که سبب کاهش سرعت رواناب و کاهش فرسایش خاک است، استوار است. مقادیر عامل P متناسب با تغییرات شیب تغییر یافته و ارتفاع برجستگی ها مختلف تا حدی در نظر گرفته می شود	مقادیر عامل P براساس گروه های هیدرولوژیک خاک، تندی شیب ردیف های کشت، ارتفاع برجستگی ها، میزان شاخص فرسایش یک رگبار انفرادی با دوره برگشت ۱۰ ساله می باشد. RUSLE اثرات کشت نواری را با توجه به ظرفیت حمل جریان در نوارهای متراکم در ارتباط با میزان رسوب رسیده به آن نوار براورد می کند. عامل P برای برنامه ریزی حفاظت خاک، میزان و محل ترسیب را مورد نظر قرار می دهد.

۳) مدل SLEMSA :

این مدل توسط ال ول در سال ۱۹۷۸ برای نواحی جنوبی افریقا ارایه شد، که در واقع اصلاحی بر مدل USLE است که به منظور سازگار کردن آن با شرایط آگرواقلیمی جنوب افریقا صورت گرفته است. (این نیاز در زمینه خیلی از مدل های فرسایش خاک در کشور ما احساس می شود) بنابراین ال ول مدل جدیدی ارایه کرد که در آن فرسایش خاک تابع سیستم های فیزیکی نظیر اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی است. مدل SLEMSA به شرح زیر است :

$$Z = K.X.C$$

که در آن Z میانگین سالیانه هدر رفت خاک (تن در هکتار در سال)، K میانگین سالیانه هدر رفت خاک (تن در هکتار در سال) در کرت استاندارد مزرعه ای به طول ۳۰ و عرض ۱۰ متر در شیب ۲.۵ درجه (۴.۵ درصد) برای خاکی که فرسایش پذیری آن (F) تحت شرایط آیش و عاری از هر گونه علف هرز مشخص باشد، X فاکتور مشترک طول و درجه شیب (بدون بعد) و C فاکتور مدیریت زراعی (بدون بعد) می باشد.

۴) مدل PSIAC ((Modified) Pasific Southwest Inter-Agency Committee) و MPSIAC :

مدل PSIAC در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت اب در امریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارایه شد. این روش برای اولین بار در ایران در سال ۱۳۵۲ در حوزه سد دز استفاده شد. و سپس با توجه به دقت نسبتا خوب آن در مقایسه با سایر روشها و مدلهای تجربی در برخی از حوزه های آبخیز کشور مانند دو خواهران، کهیر، زاینده رود، مارون، هلیل رود، دز، سراوان و اوزن دره مورد استفاده قرار گرفت. در حال حاضر نیز برای بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در طرح های جامع کشور از این روش استفاده می شود.

برای استفاده از روش PSIAC برای براورد وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر یک از اجزای واحد اراضی یا واحد هیدرولوژیک، ۹ عامل موثر در فرسایش و رسوب زایی بر حسب شدت و ضعف نقش آنها در فرسایش خاک و تولید رسوب باید مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرند. نهایتا نمره بدست آمده از ۹ عامل در هر یک از اجزای واحد اراضی بیانگر شدت فرسایش خاک و میزان رسوب زایی در آن واحد می باشد.

عوامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب به همراه نمرات مربوط به آن در روش PSIAC :

ردیف	عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب	نمرات مشخص کننده تاثیر عوامل در فرسایش خاک و تولید رسوب	توضیحات
۱	زمین شناسی سطحی Surface geology	0 -10	
۲	خاک Soil	0 – 10	برای تعیین نمره این فاکتور بهتر است که K محاسبه گردد.
۳	آب و هوا Climate	0 – 10	براساس وضعیت و شدت بارندگی در حوزه آبخیز نمره آن تعیین می شود.
٤	روان آب Run off	0 – 10	نمره رواناب براساس گروه های هیدرولوژی (پتانسیل خاک برای تولید رواناب) تعیین می گردد. A : کمترین رواناب و D : بیشترین رواناب و بالاترین نمره
٥	پستی و بلندی Topography	0 – 20	شیب حوزه بیش از 30 % = 20 ؛ شیب حوزه کمتر از 20 % = 10 ؛ شیب کمتر از 10 % = 0
٦	پوشش زمین Ground cover	-10 - +10	هر چه پوشش حوزه بهتر باشد نمره آن کمتر می شود
۷	استفاده از زمین Land use	-10 - +10	این عامل و همین طور عامل بالا به علت داشتن نمره منفی تاثیر بیشتری در کاهش فرسایش و رسوب دارند
۸	وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه UP land Erosion	0 – 25	در صورت عدم مشاهده فرسایش در سطح خاک نمره صفر و در صورتی که بیش از ٥٠ درصد سطح زمین درگیر فرسایش شیاری و خندقی باشد نمره ۲٥ می گیرد.
۹	فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب Channel erosion and sediment transport	0 - 25	

نهایتا عدد بدست آمده از جمع این ۹ فاکتور را درجه رسوب دهی آن زیر حوزه می نامند. همچنین می توانیم با توجه به درجه رسوب دهی با استفاده از فرمول زیر رسوب ویژه یا همان میزان تولید رسوب در واحد سطح آن زیر حوزه را نیز تعیین کنیم.

$$Q_S = 38.77\ e^{0.0353R}$$

Q_S : رسوب ویژه $m^3/Km^2.Year$ R : درجه رسوب دهی (جمع فاکتورهای ۹ گانه)

با توجه به فرمول بالا که از طریق آن رسوب ویژه محاسبه گردید. حال برای بدست آوردن فرسایش ویژه آن حوزه از طریق رابطه ساده زیر عمل می کنیم :

فرسایش / تولید رسوب = نسبت تحویل رسوب (SDR)

SDR / تولید رسوب = فرسایش

نسبت تحویل رسوب که مقدار آن از طریق نموگراف محاسبه می گردد. (البته فرمولی نیز برای محاسبه SDR وجود دارد) در واقع بخشی از مواد فرسایش یافته است که به صورت رسوب در می آید. و بطور کلی به عوامل زیر بستگی دارد :

۱) مساحت حوزه آبخیز : هر چه مساحت حوزه آبخیز بیشتر باشد، SDR کمتر می شود.

۲) شیب : هر چه شیب متوسط حوزه آبخیز بیشتر باشد، SDR بیشتر می شود.

۳) بافت یا نوع خاک : بافت های ریز و بافت های سیلتی، SDR را زیاد می کنند و در مقابل بافت های شنی SDR آنها کمتر است. بافت خاک در حوزه های کوچک بیشتر تاثیر خود را نشان می دهد.

در نهایت با توجه به جدول زیر و اعداد بدست آمده از درجه رسوب دهی، ما می توانیم دو جور تفسیر انجام دهیم. ۱) تفسیر کیفی ۲) تفسیر کمی

کلاس رسوب دهی	شدت رسوب دهی	درجه رسوب	رسوب ویژه ton/ Km2.Year
۱	خیلی کم	0 – 25	کمتر از 200
۲	کم	25 – 50	200 – 500
۳	متوسط	50 – 75	500 – 1500
٤	زیاد	75 – 100	1500 – 2500
٥	خیلی زیاد	بیشتر از 100	بیشتر از 2500

اگر در زیر حوزه مورد مطالعه، تفسیر کمی انجام دهیم نقشه بدست آمده نقشه تخریب مخصوص یا رسوب ویژه یا نقشه فرسایش ویژه آن زیر حوزه می باشد. و طبق تعریف تخریب مخصوص عبارت است از کل مواد فرسایش یافته در سال بر حسب تن تقسیم بر مساحت منطقه مورد مطالعه بر حسب هکتار

همچنین می توانیم آنرا بر حسب واحد حجمی نیز به صورت زیر تعریف کنیم.

ارتفاع خاک فرسایش یافته بر حسب متر عبارت است از حجم مواد فرسایش یافته بر حسب متر مکعب، تقسیم بر مساحت منطقه مورد مطالعه بر حسب متر مربع

حال اگر ما از اعداد درجه رسوب دهی در حوزه مورد مطالعه (جمع فاکتورهای ۹ گانه) تفسیر کیفی انجام دهیم نقشه بدست آمده، نقشه رسوب دهی حوزه می باشد.

مزایا و معایب روش PSIAC :

در این مدل، بیشترین عوامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در محاسبات وارد می گردد.

نتایج حاصل از بکارگیری مدل PSIAC در بررسی تولید رسوب چند حوزه آبخیز سدهای مخزنی بزرگ کشور نشان داده است که اختلاف بین بار رسوبی براوردی از این روش با میزان مشاهده ای کم است.

این روش نسبت به سایر روش ها کاربرد بیشتری دارد.

ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب بر خلاف برخی از روش ها نظیر FAO و BLM با کمیت بیان می گردد که شاید این امر مهمترین مزیت این روش به حساب آید.

از مزایای دیگر روش PSIAC اینست که صرفنظر از ارزیابی عوامل موثر در فرسایش خاک (هفت عامل اول موجود در جدول) وضعیت فعلی فرسایش خاک در سطح حوزه آبخیز و فرسایش رودخانه ای و یا به بیان ساده تر واقعیت عینی موجود در مورد فرسایش خاک و تولید رسوب در هر آبخیز مورد ارزیابی قرار می گیرد.

از معایب بزرگ این روش، ارزیابی صحیح هر یک از فاکتورها و تعیین اولویت آنها از لحاظ موثر بودن در تولید رسوب است. که این مهم نیز با به کار گیری تجربه علمی و عملی فراوان در زمینه شناخت عوامل موثر در فرسایش خاک و رسوب زایی، قابل مرتفع کردن می باشد.

برای کمرنگ کردن نقش تجربه و سلیقه در مدل PSIAC ، در سال ۱۹۸۲ طی تحقیقی آقای جانسون و کمبهارت عوامل نه گانه این روش را به صورت معادلات عددی در آوردند که در مطالعه حوزه آبخیز از این معادلات استفاده می شود. مدل اصلاح شده در ایران به نام MPSIAC معروف شده است. در روش MPSIAC هر یک از عوامل به صورت فرمولی محاسبه می شوند که فکر نمی کنم ضرورتی به پرداختن به آنها باشد و فقط این نکته را یاد آور می شوم که دو عامل وضعیت فرسایش در سطح حوزه آبخیز و همین طور عامل فرسایش رودخانه ای و تولید رسوب در روش MPSIAC از طریق مدل BLM بدست می آیند.

۵) مدل EPM (Erosion Potential Method) :

این روش با استفاده از اطلاعات پلات های فرسایشی و اندازه گیری رسوب در طول چهل سال آزمایش در کشور یوگسلاوی بدست آمده است و بوسیله آن ضمن تعیین شدت فرسایش می توان میزان حمل رسوب در رودخانه ها را براورد نمود و در رودخانه هایی که فاقد آمار هیدرومتری و رسوب سنجی هستند کاربرد مناسبی دارد.

روش E.P.M در دو مرحله انجام می گیرد :

۱) تعیین شدت فرسایش

۲) محاسبه رسوب حمل شده

محاسبه شدت فرسایش :

برای محاسبه شدت فرسایش در یک حوزه آبخیز، اطلاعات و نقشه های زیر مورد نیاز می باشد.

نقشه توپوگرافی و عکس های هوایی هم مقیاس

نقشه زمین شناسی و سنگ شناسی

نقشه خاکشناسی

نقشه Land use

نقشه شیب

در تعیین شدت فرسایش خاک چهار عامل ضریب فرسایش (ψ) ، ضریب کاربری اراضی (X_a) ، ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوزه آبخیز (I) مورد استفاده قرار می گیرند. و نمره هر یک توسط جداولی استخراج می گردد و پس از ارزیابی چهار عامل فوق با استفاده از رابطه زیر شدت فرسایش را بدست می آوریم :

$$Z = Y \cdot X_a (\psi + I^{0.5})$$

پس از محاسبه Z با استفاده از جدول زیر نسبت به طبقه بندی کیفی فرسایش اقدام می شود.

طبقه بندی فرسایش	شدت فرسایش	مقادیر حد Z	مقادیر متوسط Z
I	خیلی شدید	$Z > 1$	1.25
II	شدید	$1 > Z > 0.71$	0.85
III	متوسط	$0.7 > Z > 0.41$	0.55
IV	کم	$0.4 > Z > 0.2$	0.30
V	خیلی کم	$0.19 > Z$	0.10

برای محاسبه Z علاوه بر فرمول بالا می توان از نمودار تعیین ضریب شدت فرسایش نیز استفاده کرد.

محاسبه فرسایش ویژه :

فرسایش ویژه یا مقدار فرسایش در واحد سطح در طول یک سال حوزه آبخیز از رابطه زیر بدست می آید :

$$W_{SP} = T \cdot H \cdot Z^{1.5}$$

W_{SP} = مقدار فرسایش بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال

H = متوسط بارندگی سالیانه حوزه بر حسب میلی متر

T = ضریب درجه حرارت که از رابطه $T= (t/10 + 0.1)^{0.5}$ بدست می آید که در آن t متوسط درجه حرارت سالیانه حوزه بر حسب سانتی گراد می باشد.

Z = شدت فرسایش

تعیین ضریب رسوب دهی حوزه :

معمولا مقدار رسوبی که در محل خروجی رودخانه اندازه گیری می شود از خاک فرسایش یافته در سطح حوزه آبخیز کمتر است. زیرا ممکن است مقدار زیادی از خاک فرسایش یافته در نقطه دیگری از حوزه رسوب نماید و به همین جهت لزوم تعیین ضریب رسوب دهی حوزه ضرورت دارد.

$$\mathbf{RU = L\ (P \cdot D)^{0.5}}$$

در فرمول بالا :

RU = ضریب رسوب دهی حوزه آبخیز

P = محیط حوزه آبخیز

L = طول حوزه آبخیز به کیلومتر (منظور طویل ترین طول یا طول آبراهه اصلی است)

در فرمول بالا مقدار D از طریق فرمول روبرو بدست می آید. $D = (D_{av} - D_O)$

D_{av} = ارتفاع متوسط حوزه آبخیز

D_O = ارتفاع نقطه خروجی در رودخانه

محاسبه دبی رسوب ویژه و دبی رسوب کل :

برای محاسبه دبی رسوب ویژه ؛ مقدار فرسایش ویژه را در ضریب رسوب دهی ضرب می نماییم :

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

G_{SP} = دبی رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال

W_{SP} = مقدار فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال

RU = ضریب رسوب دهی حوزه آبخیز (که همان SDR روش PSIAC می باشد)

برای محاسبه دبی رسوب کل ؛ دبی رسوب ویژه را در مساحت کل حوزه آبخیز ضرب می نماییم :

$G_S = G_{SP} . F$

G_S = دبی رسوب کل حوزه بر حسب متر مکعب در سال

G_{SP} = دبی رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع

F = مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

بدیهی است که برای محاسبه دبی رسوب کل بر حسب تن در سال، می بایست G_S را در وزن مخصوص ظاهری خاک حوزه ضرب نماییم.

مدل EPM در ایران در حوزه آبخیز الموت رود قزوین و حوزه آبخیز اوزون دره و چند حوزه دیگر بکار گرفته شده است.

نکته اخر در مورد این مدل (EPM) اینکه در حوزه هایی که متوسط درجه حرارت سالانه آنها کمتر از 1- درجه سانتی گراد است این روش قادر نمی باشد که وضعیت رسوب آنها را مورد ارزیابی و بررسی قرار دهد. زیرا که در فرمول $T= (t/10 + 0.1)^{0.5}$ داخل پرانتز منفی می شود.

۶) روش FAO :

در این روش براورد میزان فرسایش خاک براساس بررسی و ارزیابی ۶ عامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز می باشد.

رابطه بین شدت فرسایش خاک و عوامل موثر به صورت زیر می باشد :

S = f (A, B, C, D, E, F)

که در این فرمول :

S : شدت فرسایش خاک A : حفاظت خاک B : سنگ مادر C : شیب D : ساختمان و دانه بندی خاک E : عملیات کشاورزی F : وضعیت فعلی فرسایش

فاکتور های ارایه شده در مدل فائو بسیار شبیه فاکتور های مدل PSIAC می باشد. در حقیقت، A : زمین شناسی سطحی B : خاک C : توپوگرافی D : پوشش خاک E : نحوه استفاده از اراضی و F : وضعیت فعلی فرسایش در روش PSIAC می باشد.

نهایتا هر یک از عوامل فوق بر حسب شدت و تاثیری که در فرسایش خاک ایفا می نمایند توسط کارشناس نمره گذاری می شوند. که سهم هر فاکتور در جدول زیر آمده است.

عامل	نمره مشخص کننده شدت فرسایش
زمین شناسی	1-18
خاک	1-16
توپوگرافی و شیب	1-16
پوشش خاک	1-20
استفاده از اراضی	0-15
وضعیت فعلی فرسایش	0-15
جمع کل	4-100

پس از نمره گذاری کلیه عوامل در واحدهای هیدرولوژیک یا واحدهای اراضی، از مجموع این نمرات شدت فرسایش خاک تعیین شده و تحت ۶ کلاس بیان می گردد. که این کلاس بندی نیز در جدول زیر ارایه شده است.

کلاس فرسایش	نمره براورد شده	عملیات اصلاحی
I	0-8	اقداماتی که در زمان حال می شود قابل قبول است
II	9-20	تجدید نظر در نحوه اداره زمین به همراه مقداری عملیات اصلاحی
III	21-40	تجدید نظر در نحوه اداره زمین، و به عملیات اصلاحی افزوده گردد
IV	41-65	تغییرات وسیع و همه جانبه در اداره اراضی، کاربرد عمومی عملیات اصلاحی و عملیات ساختمانی
V	66-85	اقدامات همه جانبه در زمینه محدودیت اراضی، براورد مالکیت ها، اقدامات گسترده ساختمانی
VI	+ 86	محدودیت در مالکیت اراضی و حداکثر عملیات اصلاحی

نکات پایانی در مورد این مدل اینکه، مدل فائو تا حدودی شبیه به مدل PSIAC می باشد ولی مدل PSIAC با توجه به اینکه نقش ۹ عامل را در فرسایش خاک در نظر می گیرد (در روش FAO ۶ فاکتور را داریم) و همین طور می تواند توصیفی کمی و کیفی از فرسایش خاک ارایه کند (روش فائو فقط توصیفی کیفی از فرسایش خاک در حوزه ارایه می کند) بسیار مفصل و کاربردی تر می باشد.

و در آخر یادآور می شوم که با توجه به اطلاعی که بنده دارم روش FAO در کشور ما در حوزه آبخیز سد ویشمگیر انجام گرفته است.

۷) روش فورنیه (Fournier) :

فورنیه برای براورد رسوب یک حوزه آبخیز دو روش مختلف ارایه داده است که به شرح زیر می باشد :

روش اول فورنیه برای براورد رسوب در یک حوزه آبخیز به صورت زیر است :

$$\log Q_S = 2.65 \log (P^2_W / P_a) + 0.46 \log H (\tan S) - 1.56$$

در فرمول بالا :

Q_S : رسوب ویژه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال

P_W : میانگین بارندگی پرباران ترین ماه سال در دوره آماری مورد نظر بر حسب میلیمتر

P_a : میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلی متر در دوره آماری مورد نظر

H : ارتفاع متوسط حوزه بر حسب متر

S : شیب متوسط حوزه بر حسب درجه (به جای tan S می توان از درصد شیب متوسط حوزه نیز استفاده کرد)

روش دوم فورنیه برای براورد رسوب در یک حوزه به صورت زیر است :

$$\log Q_S = 2.65 \log (P_W / P_a) + 0.46 \log (H^2/ S) -1.56$$

تمامی عامل های بالا همان عوامل فرمول قبل می باشند بجز S که سطح حوزه بر حسب کیلومتر مربع می باشد.

نکته ای که در رابطه با فرمول فورنیه می بایستی در نظر داشت اینکه روش فورنیه پتانسیل فرسایش پذیری حوزه را مد نظر قرار نمی دهد. بنابراین اگر دو منطقه از نظر عوامل مربوط به فرمول یکسان بوده ولی از نظر شرایط زمین شناسی، خاکشناسی و پوشش گیاهی متفاوت باشد میزان رسوب آنها یکسان براورد خواهد شد.

۸) روش مسگریو (Musgrave) :

مسگریو در سال ۱۹۴۷ با مطالعه و اندازه گیری فرسایش حاصل از ۴۰۰۰۰ رگبار را در ایالات متحد آمریکا برای براورد شدت فرسایش ورقه ای بکار برده و این مطالعات را به صورت رابطه ای به شکل زیر ارایه داده است.

$$E = I.R.S^{1.35}.L^{0.35}.P_{30}^{1.73}$$

E : فرسایش خاک بر حسب ایکر اینچ

I : قابلیت فرسایش پذیری خاک بر حسب اینچ

R : عامل پوشش خاک

S : شیب بر حسب درصد

L : طول دامنه شیب دار بر حسب فوت

P_{30} : ماکزیمم بارندگی ۳۰ دقیقه دو ساله بر حسب اینچ

روش مسگریو برای براورد فرسایش ورقه ای بوده و برای انواع مختلف فرسایش قابلیت کاربردی ندارد و همین طور برای سطوح کوچک استفاده می گردد.

۹) روش دفتر مدیریت اراضی Bureau of Land Management (BLM) :

این روش که توسط سازمان مدیریت اراضی امریکا ابداع شده است، و بر اساس ارزیابی ۷ عامل به شرح زیر می باشد :

- حرکت خاک (توسط آب، باد، نیروی ثقل و ...) (0-14)
- وجود لاشبرگ در سطح خاک (0-14)
- وضعیت سنگها (عمدتا از نظر توزیع درسطح) (0-14)
- قطعات سنگی تحکیم یافته (برجستگی ها) (0-14)
- وجود فرسایش شیاری (0-14)
- فرم آبراهه ها (0-15)
- وجود فرسایش خندقی (0-15)

مجموع نمرات این هفت عامل (که در جلوی آنها آمده است)، امتیاز عامل سطحی خاک (S.S.F) را به دست می دهد. و وضعیت فرسایش نیز برحسب جمع نمرات هفت گانه به صورت کیفی با توجه به جدول زیر بیان می شود.

وضعیت فرسایش	جمع نمرات عوامل هفت گانه
جزئی	0-20
کم	21-40
متوسط	41-60
زیاد	61-80
خیلی زیاد	81-100

۱۰) مدل Griffith University Erosion System Template (GUEST) :

در سالهای اخیر نسل جدیدی از مدلهای با پایه فیزیکی (یا به عبارت دیگر فرایندی) نظیر WEPP، EUROSEM و GUEST برای توصیف و کمی کردن فرایندهای فرسایش توسعه یافته اند. و اما مدل GUEST که یکی از مدلهای فرایندی مطرح در زمینه فرسایش خاک می باشد طی دو دهه گذشته تکمیل شده است. تئوری اولیه این مدل توسط رز و همکاران مطرح و برای داده های رواناب و غلظت ناشی از ۹ رویداد در یک آبخیز کوچک (1.3 ha) در اقلیم خشک در آریزونا بکار برده شد. (امیدوارم که این مبحث در آینده تکمیل گردد.)

۱۱) مدل Water Erosion Prediction Project (WEPP) :

این مدل در سال ۱۹۸۵ پایه گذاری شده است و یک تکنولوژی جدید پیش بینی فرسایش است که بر پایه مفاهیم اساسی اقلیمی، تئوری نفوذ، هیدرولوژیکی، فیزیک خاک، علوم گیاهی، هیدرولیک و مکانیسم های فرسایش بنا شده است. این مدل قادر است که تلفات خاک را در طول شیب و تولید رسوب را در انتهای شیب یک تپه محاسبه نماید. (امیدوارم که این مبحث در آینده تکمیل گردد.)

۱۲) مدل European Soil Erosion Model (EUROSEM) :

مدل EUROSEM ، مدلی فرایندی و دینامیک است که توسط مورگان و همکارانش در سال ۱۹۹۸ ارایه گردید. این مدل قادر است فرسایش ناشی از فرایندهای شیاری و بین شیاری را در هر رگبار بر روی سطوح اراضی در مقیاس مزرعه ای یا آبخیز های کوچک شبیه سازی نماید. مدل EUROSEM ، حجم کل رواناب، تلفات کل خاک، آب نمود (Hydrograph) و رسوب نمود (Sediment graph) هر رخداد را شبیه سازی می کند.

نکته ۱۶ : پیش از پرداختن به عملیات حفاظت خاک و کنترل فرسایش یک حوزه آبخیز، لازم است که از میزان رواناب آن حوزه و همین طور شکل حوزه مورد مطالعه اطلاعاتی بدست آوریم که ما در زیر قصد داریم به این مباحث بپردازیم.

کامل ترین تعریفی که از رواناب شده است این است که، بخشی از نزولات آسمانی که نه تبخیر شده، نه جذب گیاهان شده و نه در خاک نفوذ کرده است، بلکه در سطوح شیب دار جاری شده و توسط آبراهه های حوزه آبخیز از آن خارج می گردد. این آب را روان آب یا به طور دقیق تر آبدوی مستقیم یا سطحی (Surface run off) می نامند.

ممکن است بخشی از ابی که در خاک نفوذ کرده است در زیر لایه سطحی خاک در جهت شیب زمین حرکت کرده و از جای دیگری خارج شود. در این صورت آنرا رواناب زیر سطحی (Subsurface flow) می نامند، مانند چشمه ها ، این آب به دلیل کندی جریان در لایه های خاک معمولا خیلی دیرتر از رواناب سطحی در سطح زمین ظاهر می شود و آنرا آبدوی غیر مستقیم یا دایمی می نامند به مجموع آبدوی مستقیم و غیر مستقیم آبدوی کل گفته می شود.

نقش عوامل موثر در تولید رواناب :

۱) نقش عوامل اقلیمی یا آب و هوایی در تولید رواناب:

عوامل آب و هوایی موثر در آبدوی عبارتند از : شکل بارندگی، شدت، مدت و دوره بازگشت بارندگی، پراکنش شدت در مدت بارش، جهت حرکت رگبار، تبخیر و تعرق و غیره

در مبحث مربوط به فرسایش ناشی از باران به تمامی این مباحث به نوعی پرداخته شده است. که در اینجا ضرورتی به تکرار نیست.

۲) نقش خصوصیات حوزه آبخیز در میزان آبدوی :

حوزه آبخیز (Watershed catchment area) سطحی از یک منطقه است که بین خط الراس های آن منطقه محدود گردیده و آبدوی حاصل از بارندگی که روی آن می بارد به نقطه واحدی به نام نقطه تمرکز هدایت می شود. اگر نقطه تمرکز در داخل حوزه قرار گرفته باشد، یعنی حوزه محیط کاملا مسدودی را تشکیل دهد، آن حوزه را بسته، و اگر نقطه تمرکز در انتهای حوزه واقع شده باشد به طوری که رواناب بتواند از حوزه خارج شود، آن را حوزه باز می نامند. خط القعر های هر حوزه، آبراهه ها را تشکیل می دهند.

تعریف زمان تمرکز یا زمان تجمع : مدت زمان لازم برای رسیدن آب باران تمامی قسمت های حوزه آبخیز به نقطه خروجی است. و یا از شروع رواناب تا زمانی که دبی به مقدار ثابت خود می رسد مدتی طول می کشد که آنرا زمان تمرکز می نامند. و دبی رواناب در زمان تمرکز است که به بیشترین مقدار خود می رسد.

عوامل موثر بر زمان تمرکز :

۱) وسعت حوزه آبخیز : هر چه حوزه آبخیز وسیع تر باشد، زمان تمرکز افزایش می یابد.

۲) توپوگرافی : هر چه توپوگرافی (شیب) زیادتر باشد، زمان تمرکز کمتر است.

۳) شکل حوزه آبخیز : بطور کلی شکل حوزه آبخیز در مقدار (حجم) رواناب تاثیر ندارد ولی در شدت (P^K) رواناب تاثیر دارد. حوزه های که به دایره یا مربع نزدیک باشند بدلیل اینکه زمان تمرکز آبراهه های این حوزه ها به هم نزدیک است آب این آبراهه ها یکدفعه بهم می رسند و ایجاد جریانات طغیانی می کنند.

اما اگر حوزه کشیده و مستطیلی باشد، بدلیل آنکه زمان تمرکز آبراهه ها یکسان نیست. جریانات طغیانی را نداریم.

روش های تعیین شکل حوزه آبخیز :

۱) روش هورتون :

$$R = A / L^2$$

A : مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

L : طول آبخیز بر حسب کیلومتر

هر چه مقدار R به عدد یک نزدیک باشد، شکل آبخیز مورد نظر به مربع نزدیکتر خواهد بود. بالعکس هر چه این عدد از یک کوچکتر باشد بیانگر این است که شکل آبخیز مورد مطالعه کشیده و طویل تر است.

۲) روش میلر :

$$S = (12.57 \times A) / P^2$$

A : مساحت و P : محیط حوزه آبخیز می باشد و در این رابطه هر چه مقدار S به عدد یک نزدیکتر باشد شکل آبخیز مورد مطالعه به دایره نزدیکتر خواهد بود.

۳) نسبت طول یا روش شیوم :

$$S = DC / L$$

در این فرمول، DC قطر دایره هم سطح با حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر و L طول آبخیز بر حسب کیلومتر است

۴) ضریب گردی یا ضریب گراولیوس :

ضریب گردی عبارت است از نسبت محیط حوزه به محیط دایره ای که مساحت آن برابر مساحت حوزه باشد. و فرمول آن به صورت زیر است.

$$C = (0.28 \times P) / \sqrt{A}$$

P محیط حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر و A مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع می باشد

در این فرمول : اگر حوزه آبخیز به شکل دایره باشد، ضریب C برابر با یک است و در غیر این صورت ضریب بزرگتر از یک خواهد بود. هر چه این شاخص از یک بیشتر باشد، شکل حوزه آبخیز کشیده تر خواهد بود.

۷) روش های محاسبه زمان تمرکز :

۱) روش ویلیامز : در این رابطه که به نوعی دقیق ترین روش نیز می باشد، زمان تمرکز یک حوزه آبخیز بر اساس خصوصیات فیزیکی آن بوسیله رابطه زیر بیان می شود.

$$T_C = (L / (1.5 \times D)) \times \sqrt[5]{(M^2 / F)}$$

در این فرمول :

T_C : زمان تمرکز بر حسب ساعت

L : طول آبراهه اصلی بر حسب کیلومتر

D : قطر دایره معادل سطح حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر

M : مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

F : شیب متوسط آبراهه اصلی بر حسب متر در ۱۰۰ متر

۲) روش کرپیچ : (روش تجربی)

$$T_C = 0.02\ L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

در این فرمول :

T_C : زمان تمرکز بر حسب دقیقه

L : حداکثر طول جریان آب بر حسب متر

S : شیب متوسط آبراهه بر حسب متر در متر

۳) روش تجربی دوم :

$$T_C = 0.00195\ (L / \sqrt{S})^{0.77}$$

T_C : زمان تمرکز بر حسب دقیقه

L : طول آبراهه اصلی بر حسب متر

S : شیب بر حسب متر در متر

در این فرمول، شیب از تقسیم اختلاف ارتفاع بین بالاترین و پایین ترین نقطه در حوزه آبخیز بر طول آبراهه اصلی بدست می آید.

روش های محاسبه رواناب :

۱) روش منطقی یا استدلالی Rational method :

این روش به عنوان یک روش تجربی، ساده ترین روشی است که برای تخمین حداکثر دبی جریان رواناب (P^K) و ارتفاع آبدوی بکار می رود. این روش بدلیل براورد شدت رواناب می تواند برای محاسبه ابعاد دهانه پل ها نیز استفاده شود. فرمول به شکل زیر است :

Q = CIA / 360

در این فرمول

Q : دبی رواناب بر حسب متر مکعب در ثانیه

C : ضریب رواناب (بدون واحد)

I : شدت بارندگی بر حسب میلی متر در ساعت که زمان تداوم آن معادل زمان تمرکز حوزه یا بیشتر از آن است.

A : سطح آبخیز بر حسب هکتار

این فرمول به صورت زیر نیز ارایه شده است

Q = 0.278 CIA

که در آن :

Q : دبی بر حسب متر مکعب در ثانیه

C : ضریب رواناب

I : شدت بارندگی بر حسب میلی متر در ساعت که زمان تداوم آن معادل زمان تمرکز حوزه یا بیشتر از آن است.

A : سطح آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

حال این سوال پیش می آید که پارامتر های که برای محاسبه Q استفاده شده اند چگونه محاسبه می شوند؟ که در زیر توضیح می دهیم.

برای محاسبه سطح آبخیز باید مساحت آنرا روی نقشه یا عکس های هوایی تعیین کنیم

برای تعیین I یا شدت حداکثر بارندگی ابتدا زمان تجمع را تعیین می کنیم و سپس این زمان بدست آمده را به عنوان مدت بارندگی در نظر گرفته و از روی منحنی موجود بین شدت و مدت بارندگی در دوره بازگشت مورد نظر، مقدار شدت را برای آن زمان به دست می آوریم.

برای محاسبه ضریب C و یا همان ضریب جریان، از جداولی که تهیه شده است می توان استفاده کرد. البته برای محاسبه ضریب جریان که در واقع نشان دهنده درصدی از باران می باشد که به صورت رواناب در آمده، می توان از تعاریف زیر استفاده کرد.

ضریب جریان عبارت است از : ارتفاع آب جاری شده (حجم آب خارج شده) به ارتفاع بارندگی متوسط حوزه (حجم باران باریده شده).

۲) روش شماره منحنی رواناب (C.N) :

این روش در حوزه های آبخیزی که ایستگاه سینوپتیک به منظور تعیین شدت بارندگی ندارند. مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش با بررسی خصوصیاتی از حوزه آبخیز، به عددی می رسیم که نماینده تولید رواناب در ان حوزه است. این عدد بین ۱۰۰-۰ متغیر بوده و هر چه به ۱۰۰ نزدیکتر شود توانایی آن حوزه برای تولید رواناب بیشتر می شود و هر چه از ۱۰۰ دورتر شود توانایی آن حوزه برای تولید رواناب کمتر است.

با بدست آوردن شماره منحنی رواناب (C.N) می توانیم عمق یا ارتفاع رواناب، حجم رواناب و شدت رواناب را محاسبه نماییم. (در روش استدلالی ما شدت رواناب را بدست می آوردیم)

خصوصیاتی که از حوزه آبخیز، که در این روش مطالعه می شود عبارتند از :

۱) گروه های هیدرولوژیکی خاک :

خاکها را بر اساس اینکه چه پتانسیلی برای تولید رواناب داشته باشند به چهار گروه زیر تقسیم می کنند.

گروه A : خاکهای هستند با توانایی تولید رواناب کم و نفوذ پذیری زیاد (نفوذ پذیری بیش از 7.6 Cm/hr و اغلب بیش از 18 Cm/hr) و دارای بافت سبک، شنی و عمیق می باشند.

گروه B : خاکهای هستند با پتانسیل تولید رواناب متوسط و بافت نسبتا ریز و دارای عمق نسبتا آنها نسبتا عمیق تا عمیق می باشد. این خاکها دارای نفوذ پذیری بین 3.25-7.6 Cm/hr می باشند.

گروه C : خاکهای که رواناب نسبتا زیادی تولید می کنند و بافت آنها نسبتا سنگین تا سنگین است. در بعضی از این خاکها لایه غیر قابل نفوذ وجود دارد. و نفوذ پذیری این گروه از خاکها بین 1.3-3.25 Cm/hr می باشد.

گروه D : پتانسیل تولید رواناب در این خاکها زیاد است و دارای بافت خیلی سنگینی می باشند. این گروه از خاکها، نفوذپذیری کمتر از 1.3 Cm/hr داشته و اغلب در شرایط زیر دیده می شوند.

الف) خاکهای رسی با ظرفیت انبساط پذیری زیاد

ب) خاکهای که سفره آب زیر زمینی بطور دایم در آنها بالا است.

پ) خاکهای که در آنها لایه Clay pan یا Clay layer نزدیک به سطح است.

ت) خاکهای کم عمق بر روی مواد غیر قابل نفوذ (مارن ، شیست)

۲) وضعیت رطوبتی خاک

۳) نوع عملیات اصلاحی

۴) نوع استفاده از خاک

۵) وضعیت کاربری

۳) محاسبه رواناب با معادله SCS :

این معادله توسط آقای Victor.mockus در سال ۱۹۴۷ بر اساس تحقیقاتی که انجام داد ارایه شد. ولی به علت اینکه در سطح وسیع توسط SCS مورد استفاده قرار گرفت به این نام معروف شده است. این معادله کاربرد بسیار وسیعی دارد.

1) $Q = (P - I_a)^2 / (P - I_a) + S$

Q : عمق رواناب بر حسب اینچ

P : مقدار بارندگی بر حسب اینچ

I_a : جذب اولیه

S : امکان بالقوه خاک برای نگهداری اب بر حسب اینچ

بر اساس تحقیقاتی که انجام گرفت، فرمول ساده شد و نتایج زیر بدست آمد.

2) $I_a = 0.2\ S$

3) $Q = (P - 0.2\ S)^2 / (P - 0.8\ S)$

4) $S = (100 / C.N) - 10$

5) $C.N = 1000 / (10 + S)$

در اینجا اگر S برابر با صفر شود (یعنی هیچ آبی نگهداری نمی شود (آسفالت)) در این حالت C.N برابر با صد می شود. یعنی همه آن رواناب است.

اگر در تپه های شنی S برابر ∞ باشد در فرمول ۵، C.N برابر با صفر می شود

اگر عمق رواناب (Q) را ضرب در سطح حوزه کنیم، حجم بدست می آید.

۴) محاسبه رواناب به روش کوک :

این روش برای محاسبه رواناب، روش دقیقی نیست و تنها به براورد چهار فاکتور نیاز دارد. که عبارتند از :

۱) نفوذپذیری
۲) ذخایر سطحی
۳) پوشش گیاهی
۴) پستی و بلندی

نکته ۱۷ : در زیر به عنوان مطلب پایانی، مباحثی را پیرامون حفاظت خاک و روش های مبارزه با فرسایش خاک ارایه می کنیم.

انواع روش های مبارزه با فرسایش :

۱) مبارزه غیر مستقیم یا بیولوژیکی :

در این روش ما روی شیب تغییر آنچنانی ایجاد نمی کنیم بلکه با احیاء پوشش گیاهی با فرسایش مبارزه می کنیم. مثل

۱- احیاء پوشش گیاهی با بذر پاشی، نهالکاری و جنگل کاری طبیعی یا مصنوعی
۲- قرق؛ البته قرق کوتاه مدت
۳- ورود به موقع دام به مراتع و خروج به موقع آنها
۴- تبدیل اراضی دیم کو بازده به علوفه های چند ساله
۵- استفاده از رواناب سطحی در جهت تولید و احیاء پوشش گیاهی، مثل Micro catchment
۶- استفاده از اراضی بر حسب استعداد آنها
۷- جلوگیری از اعمال عملیات مضر کشاورزی و انجام کشت صحیح به طریق کنتور بندی و کشت نواری (این مطلب را در زیر بیشتر توضیح می دهیم).

نوع کشت در روش مبارزه غیر مستقیم با فرسایش :

۱) کشت کنتوری :

کشت بر روی خطوط منحنی میزان می باشد. و به دو طریق انجام می گیرد.

۱-۱) کن تور لاین Contour Line : (خط راهنما)

بطور کلی کشت در روش مراحل زیر را دارا است.

۱- تعیین موقعیت خط کن تور یا خط راهنما
۲- شخم کن تور
۳- کشت بر روی خطوط کن تور

این مدل کشت بهترین جواب را در شیب 3-8 % و در شرایط بارندگی کم می دهد.

۱-۲) کن تور بانک Contour bank :

در این روش کشت به جای خط راهنما ما یک پشته 30-40 Cm داریم و خاکریزی می کنیم که این نیز بر روی خطوط میزان منحنی است. کنتور بانک در شیب های 8-15 % و در شرایط بارندگی شدید در شیب های کمتر از 8 % نیز اجرا می شود و علاوه بر اراضی کشاورزی در مراتع نیز می توان آنرا اجرا کرد (البته تا شیب 15 %).

کف کن تور بانک را دو جور طراحی می کنند. یا افقی و یا شیب دار ؛ افقی وقتی است که شدت بارندگی زیاد نباشد و نفوذپذیری نیز خوب باشد. و در صورتی که بارندگی منطقه زیاد و نفوذپذیری خاک خوب نباشد کف کن تور بانک را شیب دار می سازند تا آبراهه ها را منتقل کند.

بطور کلی کن تور بانک ها می توانند باعث آبدار شدن سفره آب زیر زمینی و قنوات شوند.

۲) کشت نواری Strip cropping :

این روش عبارت است از یک سری نوار یکدرمیان گیاهی، عمود بر جهت شیب زمین.

انواع کشت نواری

۱- کشت نواری کن توری Contour strip cropping : مثل حالت کن توری (کن تور لاین و کن تور بانک)، منتها به جای اینکه روی خطوط میزان یک گیاه بکاریم روی هر نوار یک گیاه می کاریم.

۲- کشت نواری مزرعه Field strip cropping : گاها منطقه کاری ما ممکن است به طریقی باشد که شیب نامنظمی داشته باشد که نتوان کشت روی خطوط میزان انجام داد در این شرایط از کشت نواری مزرعه استفاده می کنیم. در این روش ما روی خطوط منحنی میزان کشت انجام نمی دهیم ولی عمود بر شیب کشت انجام می شود.

۳- کشت نواری بادی Wind strip cropping : در مناطقی که بادهای فصلی با شدت زیاد وجود دارد ما درختانی را به عنوان بادشکن به صورت نواری در مقابل جهت باد می کاریم که این با دشکن ها سرعت حد آستانه فرسایش را پایین می آورند. و در مناطقی که جهت باد غالب در فطول مختلف سال تغییر می کند از بادشکن های شطرنجی استفاده می شود.

۲) مبارزه مستقیم یا مهندسی یا مکانیکی :

در این روش مبارزه، مستقیما روی شیب تغییرات (تراس، بانکت) ایجاد می کنیم. تا این تغییرات نهایتا منجر شود به این که، اولا سرعت رواناب به حد آستانه فرسایش نرسد. ثانیا تمام یا قسمتی از آب در زمین نفوذ کند. و ثالثا اینکه آبهای اضافی به مجرای خروجی مطمئنی هدایت شوند.

تغییرات روی اراضی شیب دار در تمامی منابع آمریکایی بنام تراس مشهور است و در بعضی منابع مثل فرانسوی ها، بعضی از تغییرات را تراس و بعضی از تغییرات را بانکت می نامند. که ما در آبخیزداری با اروپایی ها هماهنگ هستیم.

تراس بندی Terracing :

عبارت است از خاکبرداری و خاکریزی بر روی سطح شیب دار به نحوی که پس از اجرا، سطح شیب دار به صورت تراس در آمده باشد. در یک سطح شیب دار تراس ها مانع این می شوند که سرعت رواناب به حد آستانه فرسایش برسد. در زیر به برخی ایرادات و در واقع عیوبی که بر تراس بندی وارد است را متذکر می شویم.

۱- هزینه زیاد خاکبرداری و خاکریزی (در واقع، نداشتن توجیه اقتصادی)
۲- محدود بودن موارد استفاده از تراس (بیشتر برای کشاورزی استفاده می شود)
۳- محدود بودن استفاده در شیب (حداکثر تا شیب 25 %)
۴- اختلاط خاک سطح الارض و زیرین
۵- امکان لغزش خاک در موارد خاص

انواع تراس ها :

۱) تراس معمولی : در جاهای که شیب کم است (20 % و نهایتا 25 %) اجرا شده و چون شیب کم است نتیجتاً عرض آین تراس ها زیاد شده و از آنها می توان برای کشاورزی استفاده کرد.

۲) تراس سکوی یا پله ای Bench terrace : این نوع تراس ها را در شیب های تند حتی تا 50 % می توان اجرا کرد. و به علت اینکه شیب زیاد است عرض تراس کم می شود و این نوع تراس ها برای کشاورزی مناسب نیستند و بیشتر برای نهال کاری و احداث باغ استفاده می شوند.

تراس های سکوی یا پله ای انواع مختلفی دارند که عبارتند از :

۱-۱) تراس های پله ای افقی : این تراس ها شیب ندارند و اجازه نفوذ آب را می دهند.

۱-۲) تراس های پله ای با شیب به طرف دره : این تراس ها در شرایطی که بارندگی و رواناب در منطقه زیاد باشد و در لایه زیرین تپه، لایه غیر قابل نفوذ وجود داشته باشد استفاده می شود.

۱-۳) تراس های پله ای با شیب به طرف کوه یا تپه : در مناطقی که آب کم است و می خواهیم همه آب در زمین نفوذ کند از این تراس ها استفاده می شود.

۱-۴) تراس های پله ای آبیاری : بیشتر برای انتقال آب استفاده می شوند.

اشکال تراس ها : تراس ها به دو شکل طراحی می شوند.

الف) تراس قایم با دیواره محافظ : جاهای که ارزش زمین بالا و خطر استحکام پایین است این نوع تراس ها استفاده می شود. که البته اجرای آنها هزینه بالای نیز دارد.

ب) تراس های مایل : در جاهای که ارزش زمین کم و استحکام خاک زیاد است از این تراس ها استفاده می شود.

محاسبه فاصله عمودی و افقی بین تراس ها :

محاسبه فاصله عمودی بین تراس ها (V.I) Vertical Interval :

برای محاسبه فاصله عمودی از فرمولی که SCS توصیه کرده استفاده می شود.

$$V.I = 0.3 (X.S + Y)$$

V.I : فاصله عمودی دو تراس بر حسب متر

X : عدد متغیری است که 0.4 برای تراس های شیب دار و 0.8 برای تراس های افقی بدون شیب در نظر می گیرند.

S : شیب زمین (متر در یکصدمتر)

Y : فاکتور متغیری است که از یک تا چهار بستگی به خصوصیات فرسایش پذیری خاک، پوشش گیاهی و نفوذپذیری در تغییر است.

Y=1 برای خاکهای که نفوذپذیری کمتر از حد متوسط داشته و همین طور دارای پوشش گیاهی کمی در سطح خود می باشند و جزء گروههای هیدروکوژیکی C و D قرار می گیرند. لحاظ می شود.

Y=2.5 برای خاکهای که در حد متوسط نفوذپذیری بوده و پوشش گیاهی آنها نیز متوسط بوده و جزء گروههای هیدرولوژیکی B می باشند. استفاده می شود.

Y=4 برای خاکهای بالاتر از حد متوسط نفوذپذیری و پوشش گیاهی خوب و خاکهای که جزء گروه A هیدرولوژیکی می باشند. مقدار 4 لحاظ می شود.

محاسبه فاصله افقی بین تراس ها :

برای محاسبه این فرمول (با توجه به شکل) از فرمول شیب استفاده می شود.

$$tg \alpha = S = (V.I / H.I)$$

$$H.I = (V.I / S)$$

H.I : فاصله افقی تراس ها بر حسب متر

S : شیب (متر در متر)

بانکت Banquette :

بانکت کلمه ای است فرانسوی که انگلیسی ها به آن Contour Trenche می گویند. یعنی کانال روی خطوط میزان

معمولا بانکت ها در شیب های تند و در اراضی مرتعی به منظور کاهش سرعت رواناب و نفوذ آب در داخل خاک و کمک به احیاء پوشش گیاهی و حتی ایجاد جنگل های مصنوعی و مجاری انتقال آب توصیه می شود. بانکت هزینه کمتری نسبت به تراس دارد و از نظر اجرا نیز متفاوت است. بانکت ها مثل کن تور بانک از بالا به پایین احداث می شوند.

در تراس ها در تمام سطح شیب دار خاکبرداری و خاکریزی صورت می گیرد ولی در بانکت ها ما در مناطقی خاصی از شیب خاکریزی و خاکبرداری داریم.

بانکت ها به دو طریق اجرا می شوند.

الف) بانکت های جذبی یا افقی : این نوع بانکت ها در شرایطی نفوذپذیری خاک خوب و شدت بارش در منطقه کم باشد. اجرا می شوند.

ب) بانکت های انحرافی یا شیب دار : این بانکت ها در شرایطی که نفوذپذیری خاک منطقه کم و شدت بارندگی زیاد باشد. اجرا می شوند.

و حال انواع بانکت ها :

۱) بانکت از نوع Gradin یا تراس آبراهه ای با نیمرخ V شکل :

این نوع از بانکت ها حتما جذبی می باشند و غالبا در شیب های تند 60-50 % طراحی می شوند. سطح مقطع این نوع از بانکت ها V شکل بوده و در کف بانکت درختی کاشته نمی شود و فقط در محدوده خاکبرداری و خاکریزی شده می توان درختکاری کرد. این نوع بانکت ها اغلب برای احداث باغ در شیب های تند استفاده می شوند.

۲) بانکت با مقطع ذوزنقه ای یا تراس با نیمرخ نرمال یا Contour trenches :

این نوع بانکت ها که هم جذبی و هم انحرافی آن طراحی می شود. در اکثر حوزه های کشور دیده می شود.

۳) بانکت غلات Forming terrace :

این نوع بانکت ها حداکثر تا شیب 20 % ولی اغلب تا شیب 18 % طراحی و اجرا می شوند. بانکت غلات به سه دسته زیر تقسیم می شود.

۳-۱) بانکت غلات با انحنای ساده یا تراس با شیب تند :

این نوع بانکت ها تا شیب 20-12 % استفاده می شوند و قسمت زیر کشت برده شده آنها ۶ الی ۱۲ متر می باشد و ۹۵ درصد سطح بانکت زیر کشت می رود. این نوع بانکت ها برای کشت غلات طراحی شده و جذبی می باشند.

۳-۲) بانکت با انحنای دوگانه یا تراس پای پهن یا تراس مانگوم :

این نوع بانکت ها در شیب های 12-6 % استفاده شده و حجم خاکبرداری در آنها مساوی خاکریزی است. و سطح زیر کشت رفته در این نوع بانکت ها ۱۲ الی ۱۵ متر می باشد. این بانکت نیز جذبی است.

۳-۳) بانکت با انحنای سه گانه یا تراس آبراهه ای مسطح :

این نوع بانکت در شیب های کمتر از 6 % اجرا می شود و ۱۵ متر را می توانیم زیر کشت ببریم.

محاسبه فاصله عمودی بین بانکت ها :

۱) محاسبه فاصله عمودی بین بانکت ها با استفاده از فر مول ساکاردی :

$$H = [\ P\ (260 \pm 10)\ ]^{1/3}$$

البته می توان فرمول بالا را به شکل زیر نیز نوشت.

$$H^3 / P = 260 \pm 10$$

در این فرمول :

H : فاصله عمودی بین دو بانکت بر حسب متر

P : شیب تپه یا دامنه برحسب متر در متر (فرمول ساکاردی تا شیب 25 % براوردی صحیح دارد و برای شیب های بیش از 25 % از فرمول $H^2 / P = 64$ استفاده می شود.)

۲۶۰ عدد ثابتی است که بین ۲۷۰-۲۵۰ تغییر می کند. در شرایط مناسب + و در شرایط نامناسب – یا ۲۵۰ را در نظر می گیریم.

نکته تستی مهمی که در فرمول نهفته است اینکه، هر چه شیب بیشتر شود بانکت ها بهم نزدیکتر می شوند. و یا با افزایش شیب در بانکت ها، فاصله عمودی افزایش و فاصله افقی کاهش می یابد.

همین جا اشاره کنم که برای محاسبه فاصله افقی بین بانکت ها نیز مثال تراس ها از فرمول شیب استفاده می کنیم.

۲) محاسبه فاصله عمودی بین بانکت ها با استفاده از فرمول رامسر :

این فرمول را بیشتر امریکایی ها استفاده می کنند.

$$H = (\alpha p + b) \times 0.305$$

H : فاصله عمودی بین بانکت ها بر حسب متر

P : درصد شیب زمین

α : عامل بارندگی، که برای مناطق کم باران 0.6 و برای مناطق پر باران 0.3 در نظر گرفته می شود.

b : عامل خاک و پوشش گیاهی از ۱ تا ۲ بر حسب فرسایش پذیری خاک تغییر می کندو ۱ برای خاک های فرسایش پذیر و ۲ برای خاک های مقاوم به فرسایش

۳) محاسبه فاصله عمودی بین بانکت ها با استفاده از فرمول ایرانی :

$$H^2 / P = 50 (L_1 / L_2)$$

H : فاصله عمودی بین دو بانکت بر حسب متر

P : شیب دامنه بر حسب متر در متر

L_1 : شدت بارندگی، که 3 mm/min در نظر می گیرند

L_2 : شدت بارندگی در منطقه مورد مطالعه

شدت های که ایجاد تخریب در حوزه آبخیز می کنند را برابر 1.5 mm/min در نظر گرفته می شود و فرمول به صورت زیر در می آید.

$$H^2 / P = 50 (3/1.5) \rightarrow H^2 / P = 100$$

از ایراداتی که بر این فرمول وارد است اینکه، در این فرمول نقش خاک و پوشش گیاهی نادیده گرفته شده و شرایط آب و هوایی در اهمیت قرار دارد.