



# فرسایش رسوب در آبخیزها

فرسایش رسوب در آبخیزها

به نام خدا

## پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب‌ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور وزارت نیرو در جهت نیل به این هدف با مشخص نمودن رشته‌های اصلی مهندسی آب اقدام به تشکیل مجامع علمی - تخصصی با عنوان کمیته‌ها و زیرکمیته‌های فنی نموده که وظیفه تهیه این استانداردها را به عهده دارند.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می‌گردد:

- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرحها
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر موسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد

آگاهی از نظرات کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها با این رشته از مهندسی آب مرتبط می‌باشد موجب امتنان کمیته فنی آبخیزداری خواهد بود.

## ترکیب اعضای کمیته

اسامی اعضای کمیته فنی شماره ۱۴-۲ که در تهیه این نشریه مشارکت داشته‌اند به شرح زیر می‌باشد:

کارشناس منابع طبیعی	آقای رسول جلالی
کارشناس هیدرولوژی	خانم ژاله رشتچی
کارشناس آبیاری و آبادانی	آقای نادر قاسم‌زاده
کارشناس آبیاری	آقای محمود مسچی
کارشناس منابع آب و آبخیزداری	آقای علی ملک
کارشناس هیدرولوژی	آقای محمد مهدوی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	۱- اشکال فرسایش
۳	۱-۱ فرسایش طبیعی
۳	۲-۱ فرسایش تشدید شده
۴	۲- انواع فرسایش
۴	۱-۲ فرسایش بارانی
۵	۲-۲ فرسایش ورقه ای
۵	۳-۲ فرسایش شیاری
۶	۴-۲ فرسایش خندقی
۸	۵-۲ فرسایش رودخانه ای
۱۰	۶-۲ فرسایش انحلالی
۱۰	۱-۶-۲ عوامل اولیه موثر در فرسایش انحلالی
۱۱	۲-۶-۲ انواع فرسایش انحلالی و عوامل پیدایش آنها عبارتند از :
۱۱	۲-۶-۲-۱ فرسایش انحلالی کم عمق ( شکل ۴ و ۵ )
۱۲	۲-۶-۲-۲ فرسایش انحلالی نیمه عمیق ( شکل های ۶ و ۷ )
۱۲	۲-۶-۲-۳ فرسایش انحلالی عمیق ( شکل های ۸ و ۹ و ۱۰ )
۱۶	۳-۶-۲ عوامل مهم در فرسایش انحلالی
۱۶	۲-۶-۳-۱ ترک خوردن :
۱۷	۲-۶-۳-۲ پراکندگی ذرات خاک
۲۰	۳- عوامل موثر در فرسایش خاک
۲۰	۱-۳ عوامل فرسایش دهنده
۲۳	۳-۱-۱-۲ شدت بارندگی :
۲۴	۳-۱-۱-۳ روش محاسبه شدت در زمانهای جزئی موردنظر
۲۵	۳-۱-۱-۴ منحنی های شدت مدت
۲۵	۳-۱-۱-۵ برآورد شدت های موردنظر در حوزه های آبخیز
۲۹	۲-۳ عوامل فرسایش پذیر
۲۹	۳-۲-۱ خصوصیات خاک :

۲۹	توپوگرافی	۲-۲-۳
۳۱	پوشش گیاهی :	۳-۲-۳
۳۳	نحوه بهره‌برداری از زمین	۴-۲-۳
۳۴	نقش فرسایش در تشکیل و تکامل خاکها	-۴
۳۵	"روشهای برآورد میزان فرسایش و رسوب"	-۵
	EIPM: ۳۶	۱-۵
۳۸	روش فورنیه :	۲-۵
۳۹	روش معادله جهانی فرسایش YΣΛE ( روش ویشمایر )	۳-۵
۴۶	روش داگلاس	۴-۵
۴۷	روش کرک‌بای	۵-۵
۴۷	روش ΠΣIAX	۶-۵
۵۷	وضعیت فرسایش و پراکنش جغرافیائی آن در ایران	-۶
۶۰	رابطه فرسایش و رسوب	-۷
۶۲	اثرات اقتصادی - اجتماعی فرسایش و رسوب	-۸
۶۲	اثرات اقتصادی - اجتماعی فرسایش " در محل "	۱-۸
۶۲	کاهش سطح اراضی تولیدی	۱-۱-۸
۶۲	کاهش مواد مغذی خاک	۲-۱-۸
۶۵	اثرات اقتصادی - اجتماعی فرسایش و رسوب در " خارج از محل "	۲-۸
۶۵	زیان حاصل از پرشدن سدهای کشور	۱-۲-۸
۶۵	خسارت ناشی از وارد شدن رسوب در انهار و کانالها	۲-۲-۸
۶۵	خسارت ناشی از سیل	۳-۲-۸
۶۶	زیانهای ناشی از رسوب در کف‌های کویری و بیابانی و یا سواحل دریا	۴-۲-۸
۶۷	منابع و مآخذ	-۹

## مقدمه

فرسایش به مجموعه فرآیندهایی گفته می شود که سبب کنده شدن و جابجایی خاک از یک نقطه به نقطه دیگر می شود. همانطور که میدانیم فرسایش بخشی از پروسه تکامل اکوسیستم ها است که از یکطرف موجب از دست رفتن خاک در یک نقطه و از طرف دیگر موجب تشکیل خاک در جای دیگر می شود. در سیستمهای طبیعی متعادل و تکامل یافته غالباً میزان فرسایش در همان حد تشکیل و تکامل خاکهاست و باین ترتیب باروری و حاصلخیزی سیستم در حد توان یا پتانسیل سیستم است در حالیکه در سیستمهای غیر متعادل میزان فرسایش از میزان تشکیل خاک بیشتر است و بتدریج و با ادامه این روند از میزان باروری سیستم کاسته می شود.

فرسایش در صورتیکه بیش از تولید طبیعی خاک باشد نه فقط موجب تضعیف و کاهش حاصلخیزی اکوسیستمها می شود، بلکه انتقال و جابجایی خاک از دست رفته و رسوبگذاری آن در نقطه دیگر بتدریج، عملکرد طبیعی آن مناطق را کاهش می دهد. بخصوص رسوبگذاری خاک از دست رفته در سازه های آبی و تاسیسات هیدرولیکی و مخازن سدها، کانالهای انحرافی و شبکه های آبیاری و زهکشی زیانهای اقتصادی بزرگی را در بردارد و ار عمر طراحی شده آنها بشدت می کاهد.

با توجه به موارد فوق، فرسایش را از جهت عوامل فرسایش می توان به دو دسته فرسایش طبیعی و تشدید شده تقسیم کرد. فرسایش طبیعی غالباً از عوامل طبیعی فرساینده ناشی می شود و در درازمدت موجب کاهش باروری یک اکوسیستم یا آبخیز نمی شود، در حالیکه فرسایش تشدید شده که عمدتاً از دخالت انسان در محیط زیست ناشی می شود بشدت موجب کاهش باروری سیستمها می گردد. اهمیت اقتصادی و بدنبال آن اثرات اجتماعی فرسایش تشدید شده بقدری زیاد است که هیچ مشکل طبیعی را نمی توان با آن برابر گرفت.

مطالعات انجام شده نشان داده است که تقریباً تمامی حوزه های آبخیز ما دچار مشکل فرسایش تشدید شده می باشند و بیشتر تاسیسات آبی کشور و بخصوص سدها در معرض پرشدن از رسوبات حمل شده از حوزه خود می باشند.

بررسی شدت رسوب زدائی حوزه های مختلف و روش های کنترل فرسایش و رسوب شاید مهمترین اقدامی است که پیش از بوجود آوردن هرگونه سازه های آبی باید انجام شود. کنترل فرسایش و حفظ خاک نه فقط موجب افزایش عمر مفید سازه های آن خواهد شد بلکه تداوم حاصلخیزی و افزایش باروری حوزه ها را نیز بدنبال خواهد داشت.

فرسایش و رسوب، انواع و اشکال گوناگونی دارد که تقریباً تمامی آنها از سه مرحله مستقل و در عین حال پیوسته بهم تشکیل می شوند. این سه مرحله عبارتند از:

- کنده شدن خاک از جای اصلی خود ،
- انتقال و جابجائی خاک کنده شده .
- ترسیب

برای هر یک از این مراحل نیروهائی لازم است که شدت وقوع هر یک مستقیماً به میزان نیروی اعمال شده بستگی دارد .

از مهمترین عوامل کنده شدن خاک نیروی جنبشی باران است همچنین مهمترین عامل جابجائی و انتقال خاک کنده شده جریانهای سطحی آب و حرکت باد است و بالاخره وقتی نیروی جابجائی یا انتقال چنان کاهش یابد که دیگر نتواند ذرات خاک را با خود حمل کند ذرات معلق بزودی ترسیب خواهند کرد .

این مقاله در جهت شناخت مکانیسم فرسایش و رسوب و نیروهای موثر بر آنها تدوین شده است بگونه ای که ماهیت فرسایش و رسوب ، شدت هر نوع فرسایش اثرات اقتصادی و اجتماعی آن و نهایتاً روشهای کنترل و مهار آنها شناخته و معرفی شوند .



## ۱- اشکال فرسایش

### ۱-۱ فرسایش طبیعی<sup>۱</sup>

فرسایش طبیعی یا فرسایش زمین‌شناسی<sup>۲</sup> به آن دسته از فرسایش گفته می‌شود که علل وقوع آن عوامل طبیعی هستند و فعالیت‌های انسان چه مستقیم و چه غیرمستقیم هیچگونه دخالتی در وقوع این فرسایش ندارد. فرسایش طبیعی یا فرسایش زمین‌شناسی خود بخشی از پروسه تکامل طبیعی اکوسیستم هاست و از ابتدای تشکیل خشکیها وجود داشته و موجب فرسایش پوسته روئین زمین شده است.

فرسایش طبیعی در طول دورانهای زمین‌شناسی موجب از بین رفتن کوهها و ارتفاعات و تشکیل دشتهای سیلابی و جلگه‌های ساحلی و دلتای رودخانه‌ها شده است. مهمترین علل فرسایش طبیعی عواملی هستند که موجب خردشدن سنگها و انتقال و جابجائی آنها می‌شوند که از آن جمله می‌توان از عوامل آب و هوایی، فیزیوگرافیک و غیره را نام برد.

### ۲-۱ فرسایش تشدید شده<sup>۳</sup>

فرسایش تشدید شده به فرسایشی گفته می‌شود که عامل یا عوامل وقوع آن ناشی از فعالیت‌های انسان و چگونگی بهره‌برداری او از محیط زیست خود است.

شدت فرسایش تشدید شده اغلب چندین بار بیشتر از فرسایش طبیعی و بیشتر از سرعت تشکیل خاکهاست بطوریکه در درازمدت موجب از دست رفتن خاک و تضعیف توان تولید اکوسیستمها می‌شود.

درکشور ما اکثر حوزه‌های آبخیز در معرض فرسایش تشدید شده قرار دارند و در برخی از حوزه‌ها، فرسایش تشدید شده ناشی از سوء مدیریت و بهره‌برداری نادرست از زمین، چنان شدید است که تقریباً تمامی خاک حاصلخیز از دست رفته است و توان تولید اکوسیستمها چنان کاهش یافته است که قادر به تامین نیاز غذایی حتی پست‌ترین جوامع گیاهی نیست. فرسایش تشدید شده نه فقط در اراضی کشاورزی بلکه در اراضی غیرکشاورزی و منجمله در جنگل‌ها و مراتع هم بهمان شدت دیده می‌شود. فرسایش تشدید شده در اراضی کشاورزی، عمدتاً به دلیل اعمال روشهای نادرست کشت و کار و در اراضی غیرکشاورزی بدلیل از بین بردن پوشش طبیعی زمین اتفاق می‌افتد. شدت فرسایش تشدید شده چه در اراضی کشاورزی و چه در اراضی غیرکشاورزی به میزان نادرستی نظام بهره‌برداری و درجه تخریب پوشش گیاهی بستگی دارد.

1- Natural Erosion

2- Geologic Erosion

3 - Accelerated Erosion

## ۲- انواع فرسایش

### ۱-۲ فرسایش بارانی<sup>۱</sup>

فرسایش بارانی عبارتست از پراکنش ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران با خاک یا ورقه نازک آبی که سطح آن را پوشانده باشد. با مشاهده حفره های کوچک ایجاد شده در خاک دست نخورده در اثر فرسایش بارانی، مقدار خاک از دست رفته معمولاً<sup>۲</sup> بین ۵۰ تا ۹۰ برابر بیشتر از خاکهای شسته شده می باشد. در اراضی لخت در اثر بارانهای سنگین میزان پراکنش خاک در هوا بالغ بر ۲۲۴ میلیون گرم در هکتار (۱۰۰ تن در یک ایگر) می باشد. شوئب<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۸۱).

فرسایش بارانی مستقیماً<sup>۳</sup> به میزان انرژی جنبشی باران بستگی دارد، و انرژی جنبشی باران نیز خود تابعی از: اندازه قطرات و توزیع آن در هر بارندگی - شکل سرعت و جهت سقوط قطرات.

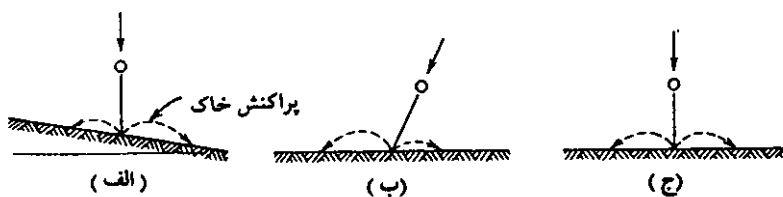
فرآیند فرسایش خاک شامل خردشدگی ذرات خاک و جابجائی آنها می باشد. خواص مرتبط بخاک را که بیان کننده سهولت خردشوندگی و جابجائی ذرات خاک می باشد. تجزیه پذیری و جابجاشوندگی خاک می باشند. بطورکلی با افزایش ابعاد ذرات خاک امکان تجزیه آن بوسیله باران بیشتر می شود در حالی که با کاهش قطر ذرات خاک امکان جابجائی ذرات بیشتر می شود.

گرچه تجزیه کلوخه های خاک رس به مراتب مشکل تر از شن می باشد، ولی حمل این ذرات با سهولت بیشتری انجام می پذیرد.

در اراضی مسطح، پراکنش ذرات خاک در اثر برخورد با قطرات باران چندان قابل توجه نمی باشد در حالیکه در اراضی شیب دار مقدار قابل ملاحظه ای از خاک جابجا شده و در پائین دست آن انباشته می شود. این حالت فرسایش در اراضی پرشیب با دامنه کوتاه با شدت بیشتری اتفاق می افتد. در صورتیکه شدت ریزش باران در سراسر یک منطقه یکنواخت باشد، فرسایش شیباری با افزایش طول شیب شدت یافته و مقدار آن در قسمت انتهائی آن بیشتر خواهد بود. شکل شماره ۱ اثرات شیب و باران در حالات مختلف را در جهت پراکنندگی خاک نشان می دهد.

1 - Rainfall Erosion

2- Schwab



شکل شماره ۱ - حالات مختلف پراکنش ذرات خاک ناشی از وضعیت

شیب و بارش ( الف - زمین شیب دار و باران عمودی ب - زمین افقی و باران مایل ج - زمین افقی و باران عمودی )  
از کهنک و برتراند ( ۱۹۵۹ )

## ۲-۲ فرسایش ورقه ای<sup>۱</sup>

فرسایش ورقه ای عبارتست از شسته شدن قشر نازکی از خاک از طریق ایجاد شیارهای میکروسکوپی سطح خاک براساس تحقیقات وسیعی که اخیراً با استفاده از تکنیک های سریع عکاسی در فواصل زمانی مختلف از مکانیزم فرسایش خاک بعمل آمده معلوم گردیده که این نوع فرسایش بندرت اتفاق می افتد. وقوع همزمان فرسایش ورقه ای و با اولین حرکت آب و خرد شدن ذرات خاک و تغییر دائمی و پیوسته محل شیارهای میکروسکوپی در سطح خاک بنحوی است که به چشم یک ناظر غیر مسلح این جابجائی خاک از یک شیار به شیار دیگر بصورت فرسایش پیوسته ورقه ای بنظر می رسد. ضربات حاصله از قطرات باران همراه با جریان سطحی سبب ایجاد شیارهای میکروسکوپی اولیه در سطح خاک می گردد. فرسایش بارانی (قطرات باران) بدلیل سرعت زیاد آن نسبت به جریان سطحی ( ۶ تا ۹ متر در ثانیه سرعت باران در برابر ۰/۳ تا ۰/۶ متر در ثانیه ) سرعت جریان سطحی و نتیجتاً انرژی جنبشی مستتر در آن بسیار بیشتر از فرسایش ورقه ای است. قطرات باران سبب خرد شدن خاکدانه ها شده و با پرکردن خلل و فرج خاک میزان نفوذ آب در خاک کاهش می یابد. این امر موجب افزایش جریان سطحی و نتیجتاً تشدید فرسایش خاک می گردد. مناطقی که لایه روئین خاک سست و کم عمق بوده و لایه زیرین سخت باشد مستعد پذیرش بیشترین میزان فرسایش است بگفته شوئب و همکاران (۱۹۸۱) نیروی فرسایشی و جابجائی جریان سطحی بستگی به عواملی نظیر عمق، سرعت رواناب، اندازه، شکل و تراکم ذرات خاک و یا خاکدانه آن دارد.

## ۳-۲ فرسایش شیاری<sup>۲</sup>

فرسایش شیاری از جابجائی خاک در اثر جریان آب و تمرکز جریان سطحی در شیارهای کوچک اما کاملاً مشخص سطح خاک بوجود می آید. بطورکلی فرسایش شیاری در شیارهایی که به اندازه کافی گسترش یافته و شکل گرفته

1- Sheet Erosion

2- Rill erosion

باشند شدت بیشتری دارد. معهذ این شیارها بدلیل کوچکی در اثر شخم و شیار قابل جابجایی می باشند. گرچه فرسایش شیاری غالباً نادیده گرفته می شود، اما این نوع فرسایش سبب بیشترین جابجایی حجم خاک می گردد. خردشدگی و جابجایی خاک در اثر فرسایش شیاری با افزایش سرعت رواناب شدت بیشتری می یابد. غالباً بیشترین فرسایش شیاری هنگامی اتفاق می افتد که باران شدید بر خاکی سست و کم عمق که دارای توان تولید رواناب سطحی زیادی باشد نازل شود.

## ۴-۲ فرسایش خندقی<sup>۱</sup>

در فرسایش خندقی کانالهای ایجاد شده بسیار عریض تر از شیارهای ایجاد شده در فرسایش شیاری است بطوریکه برخلاف شیارها باسانی قابل حذف از طریق شخم و شیار نمی باشند. بنابراین فرسایش خندقی در حقیقت مرحله پیشرفته فرسایش شیاری بوده، همانند فرسایش شیاری که مرحله پیشرفته فرسایش ورقه ای می باشد. شدت فرسایش خندقی در ابتدا بستگی به خصوصیات تولید روان آب آبخیز، حوزه آبخیز، مشخصات خاک، مسیر زهکش، ابعاد شکل خندق و شیب در کانال دارد. ایجاد یک خندق در اثر فرآیندهای مختلف که جنبه استمرار و یا متقاطع دارند به وجود می آید. این فرآیندها عبارتند از:

۱-۴-۲ فرسایش آبشاری در خندق

۲-۴-۲ فرسایش کانالی در اثر جریان آب به داخل خندق یا در اثر واکنش قطرات باران بر روی خاک محافظت نشده.

۳-۴-۲ یخ زدگی و ذوب شدن متناوب خاک ساحلی

۴-۳-۳ حرکت بخشی از خاک به داخل خندق

چهار مرحله توسعه خندق بشرح زیر می باشد:

مرحله ۱- فرسایش کانالی در اثر از بین رفتن خاک سطحی که در برابر فرسایش تا اندازه ای مقاوم باشد صورت می گیرد.

مرحله ۲- در اثر جریان آبهای بالادست، عرض و عمق خندق آن افزایش می یابد و بتدریج با تداوم فرسایش بستر خندق به افق C می رسد آنگاه پس از شستن افق C به سنگ مادری می رسد در صورتیکه سنگ مادری هم سست باشد آنرا نیز شسته و ایجاد خندق های عمیق و در پاره ای موارد آبشار می کند.

مرحله ۳- مرحله اصلاح آبراهه، با رشد پوشش گیاهی در آن آغاز می شود.

مرحله ۴- زمانی کانال به مرحله تثبیت می رسد که دیواره خندق از یک شیب مناسب برخوردار باشد و پوشش

1 - Gully erosion

گیاهی به طور وسیع شروع به رشد نموده ، سبب دوخته شدن خاک گردد . و این خود باعث ایجاد خاک سطحی جدید می گردد . مرحله اصلاح برای تثبیت و انتقال یک مرحله به مرحله دیگر ضروری است .

بعلت عدم شناخت کامل عوامل ، ارزیابی و پیش بینی توسعه خندق مشکل است . از طرفی آمار صحرائی در مورد فرسایش خندقی کافی نمی باشد . ولی بی و جانسون (۱۹۶۳) با استفاده از عکسهای هوایی و نقشه برداری صحرائی روشی در مورد پیش بینی توسعه خندق برای مناطق با خاکهای رسی - سیلیس عمیق خاک در غرب ایالت ایوا در امریکا ارائه نموده اند .

روشهای مختلفی برای طبقه بندی فرسایش خندقی ارائه شده است روشی را که ، در جدول شماره ۱ نشان داده شده مبتنی بر ابعاد خندق و سطح حوزه آبخیز می باشد . در روش دیگر ، خندقها براساس شکل برش عرضی طبقه بندی می شوند . برش عرضی خندق ممکن است بشکل V یا U که بستگی به شرایط خاک، آب و هوا ، عمر خندق و نوع فرسایش دارد ، باشد .

جدول شماره ۱- طبقه بندی خندق ها براساس ابعاد خندق و سطح حوزه آبخیز

ابعاد نسبی	عمق خندق به متر	مساحت حوزه آبخیز به هکتار
کوچک	< ۱	< ۲
متوسط	۱ تا ۵	۲ تا ۲۰
بزرگ	> ۵	> ۲۰

خندقهای U شکل ممکن است در مناطق رس سیلیس دار و دره های آبرفتی جائیکه هم خاک سطحی و هم لایه زیرین آن بسادگی قابل فرسایش می باشند ، دیده شوند . تحت چنین شرایطی خندقها در جهت دیواره های عمودی گسترش یافته که نتیجه آن از زیر خراب شدن و فروریختن کناره ها می باشد . شسته شدن خاک در اثر تمرکز رواناب آب در حوزه های حفاظت نشده که دارای فرازهای شیب دار می باشند ، سبب تشکیل خندقهای V شکل می گردد . این نوع خندقها معمولاً در جائیکه قشر زیرین خاک در برابر فرسایش مقاوم باشد ایجاد می شوند . معمولاً خندقهای V و U شکل در یک کانال یافت می گردند . طبقه بندی دقیق تر براساس شکل خندق توسط فری لند<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۳۹) پیشنهاد شده است .

هنگامی که خندقها در بالادست فعال هستند ، فعالترین بخش ، نزدیک به انتهای بالائی یا فراز خندق بوده ، در

حالی که تثبیت یافته ترین بخش خندق معمولاً قسمت پائین دست است. خندقهای فعال عبارتند از: خندقهایی که بطور مستمر در حال گسترش می باشند و وجود خاک لخت در شیبهای کناری علامت مشخصه آنها می باشد.

## ۵-۲ فرسایش رودخانه ای<sup>۱</sup>

فرسایش رودخانه ای عبارتست از فرسایش خاک از کناره یا بستر رودخانه ها بر اثر جریان آب. فرسایش رودخانه ای در شبکه اصلی یک حوزه با جریان نسبتاً دائمی و شیب بستر، کم و فرسایش خندقی در مناطق سراب حوزه و دامنه های مشرف به دره ها که دارای شیب تند و جریانهای تند موقتی می باشند اتفاق می افتد.

فرسایش کناری رودخانه بر اثر ورود مستقیم جریانهای سطحی از کناره های رودخانه بداخل آن و شسته شدن و ریزش طبقات تحتانی کناره ها در داخل رودخانه اتفاق می افتد. گرچه خطرات ناشی از شسته شدن لبه های رودخانه غالباً کمتر از خطرات ناشی از خالی شدن لایه زیرین ساحل رودخانه می باشد، ولی می تواند به نوبه خود در اثر از بین رفتن پوشش گیاهی ناشی از چرای مفرط یا شخم و شیار در اراضی حاشیه رودخانه افزایش یابد. فرسایش در اثر آب شستگی تحت تاثیر سرعت، جهت جریان، عمق، عرض و بافت خاک رودخانه قرار می گیرد، مسیر نامناسب و حضور موانع نظیر موانع رسوبی که سبب افزایش پیچ و خم می شود از عوامل عمده فرسایش در طول ساحل رودخانه می باشد. رسوب در رودخانه ها در اثر تعلیق، جهش و بار متحرک بستر جابجا می شود. حجم رسوبات را می توان با نقشه برداری مجدد کف مخزن و نمونه برداری از جریان آب رودخانه برآورد نمود.

عوامل موثر در جابجائی رسوب شامل سرعت جریان، تلاطم، میزان توزیع، قطر، چسبندگی، وزن مخصوص مواد جابجا شده، زبری مسیر رودخانه، موانع موجود بر سر راه جریان و وجود مواد قابل حرکت می باشد.

حالات مختلف رسوب در رودخانه عبارتند از:

- مواد معلق<sup>۲</sup>: رسوبات معلق عبارتند از موادی که بحالت تعلیق در جریان آب برای یک مدت قابل ملاحظه بدون تماس با کف رودخانه باقی می ماند. فرمولهائی که بمنظور بیان تمرکز رسوب در هر نقطه در عمق آب ارائه شده است زمانی کاربرد دارد که میزان تراکم در بعضی نقاط مشخص باشد شکل شماره ۲ نشان دهنده نوعی ارتباط متداول سرعت، تمرکز رسوب و دبی رسوب برای عمق های مختلف در مرکز یک آبراه طبیعی مستقیم می باشد. همانطور که در شکل (۲-الف) و (۲-ب) نشان داده شده است، سرعت و تراکم رسوب با عمق تغییر می کند. مقدار دبی رسوب بستگی به سرعت و تراکم رسوب دارد (شکل ۱-ج) با وجود آن که سرعت آب در بستر رودخانه و نزدیک آن حداقل می باشد، معهذاً غلظت مواد معلق در عمق بلافاصله نزدیک بستر حداکثر می باشد.

1- Stream Channel Erosion

2- Suspension

تراکم ذرات ریز با افزایش عمق، افزایش می یابد در حالیکه این متراکم برای ذرات درشت تر کمتر است .  
 - حرکت جهشی<sup>۱</sup> عبارتست از انتقال جهشی بخشی از رسوب در طول بستر رودخانه. ارتفاع جهش به زبان ریاضی مستقیماً متناسب است با نسبت جرم مخصوص ذرات به غلظت مایع در مجموع، میزان جهش ذرات در آب حدود یک هزارم جهش ذرات در هواست یا حدود . چند برابر قطر این ذرات است شکل (۳) . میزان رسوب حمل شده از طریق جهشی در مقایسه با کل رسوب حمل شده بسیار ناچیز است .

- بار بستر<sup>۲</sup>: بار متحرک بستر عبارتست از رسوبی که تقریباً، بطور مستمر با کف رودخانه در تماس بوده و در اثر فشار آب در کف می غلظد . مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که کمترین سرعت لازم برای شروع حرکت بار بستر در رودخانه را می توان به کمک فرمول تجربی زیر محاسبه نمود .

$$Vt = 0.152 d^{0.45} (G - 1)^{0.5}$$

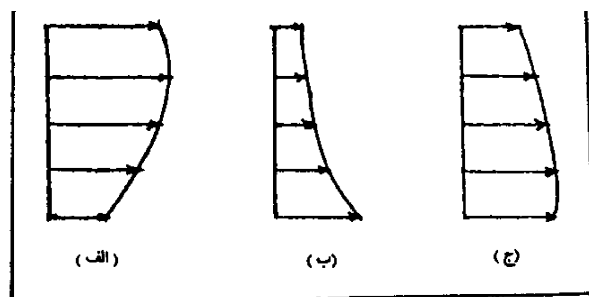
که در آن

$Vt$  = حداقل سرعت لازم برای شروع حرکت بار بستر بر حسب متر بر ثانیه

$d$  = قطر ذرات بر حسب میلیمتر

$G$  = وزن مخصوص ذرات

این معادله توسط ماویز<sup>۳</sup> (۱۹۳۵) برای موادی که دارای خاکدانه یکنواخت و قطر ذرات بین ۰/۳۵ تا ۵/۷ میلیمتر و وزن مخصوص آنها بین ۱/۸۳ تا ۲/۶۴ می باشند بکار برده می شود .



شکل ۲- (الف) سرعت، (ب) تمرکز رسوب، (ج) توزیع دبی رسوب معلق در یک رودخانه با مسیر مستقیم طبیعی

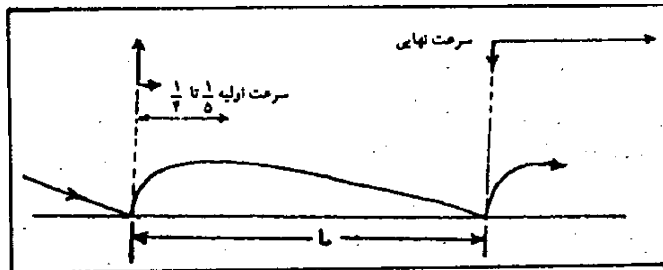
گرچه جهش ذرات و حرکت باربستر دو نوع مشخص انتقال رسوب بستر رودخانه ها می باشند، ولی بدلیل

1- Saltaiton

2-Bed Load

3- Mavis

نسبت کم ذرات جهشی به کل باربستر، ذرات جهشی در قالب بار بستر مورد مطالعه قرار می گیرد. اطلاعات بسیاری در مورد حرکت رسوب بوسیله جریان آب جمع آوری شده است، اما بیشتر اندازه گیری ها مربوط به رسوب معلق می باشد، زیرا اندازه گیری بار بستر بسیار مشکل است. نسبت حجمی بار بستر در رودخانه کلرادو در امریکا بین ۱۲ تا ۵۰ درصد مجموع بار رسوب می باشد. براساس آمار ۱۵ ساله رودخانه کلرادو نسبت وزنی ماهانه رسوب بار بستر به کل رسوب رودخانه بین ۰/۱۳ تا ۲/۸۱ درصد است.



شکل ۳- شاخص مسیر جهش ذرات در هوا، باگنولد<sup>۱</sup> (۱۹۴۱)

## ۲-۶ فرسایش انحلالی<sup>۲</sup>

فرسایشی است که بر اثر شسته شدن لایه های زیرین خاک و ایجاد تونل در زیر سطوح روئین ایجاد می شود. پراکنش خاک و ترکها عواملی هستند که باید در کنترل هر یک از انواع فرسایش به آنها توجه نمود. ظاهراً تنها یک ترک هم می تواند پتانسیل ایجاد تونل زیرزمینی را داشته باشد در اینجا پراکنش که بطور کامل وابسته به خواص شیمیایی و فیزیکی خاک می باشد مورد بحث قرار می گیرد و روشهای گوناگون کنترل بر پایه تغییر عوامل موثر مدنظر می باشد.

فرسایش انحلالی به وسیله آب سبب جابجایی لایه زیرین خاک گردیده، در حالی که خاک سطحی بطور نسبی سالم باقی می ماند. این نوع فرسایش در کشورهای مختلف دیده شده است. برای مثال: در چین، فولر<sup>۳</sup> (۱۹۲۲)، در ایالات متحده، روبی<sup>۴</sup> (۱۹۲۸)، در نیوزیلند، جیبس<sup>۵</sup> (۱۹۴۵)، در استرالیا، دانز<sup>۶</sup> (۱۹۴۸)، و در افریقای جنوبی، کینی<sup>۷</sup> (۱۹۵۱) در اینمورد بررسیهای لازم را انجام داده اند.

## ۲-۶-۱ عوامل اولیه موثر در فرسایش انحلالی

عواملی که سبب ایجاد فرسایش انحلالی می شود عبارتند از:  
الف: بارانهای فصلی با شدتهای مختلف همراه با حرارت تابستانی  
ب: خاکهای ترک دار

1- Bagnold

2- Fild Tunnel Erosion

3- Fuller

4- Rubey

5-Gibbs

6- Downes

7- Kiny



ج کاهش شدید در پوشش گیاهی

د: وجود لایه نسبتاً غیرقابل نفوذ در پروفیل زیرین خاک

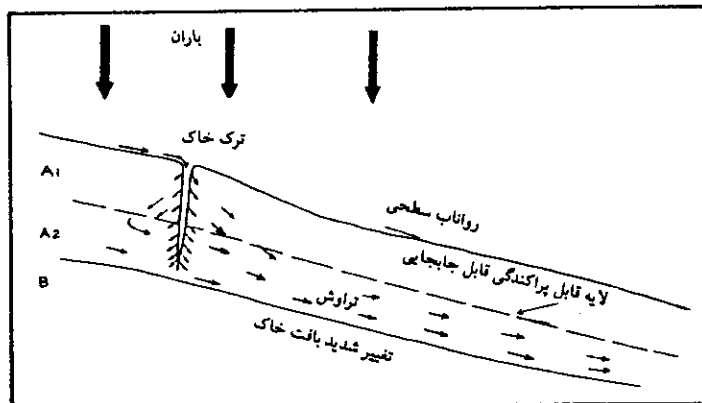
ه وجود شیب هیدرولیکی درون لایه خاک با داشتن قابلیت پراکنش ذرات خاک میزان اثر مشترک عوامل فوق و یا اثر هر یک از این عوامل بستنهایی به نوع فرسایش انحلالی بستگی دارد. این مسئله به وسیله آزمایش های مختلفی که برای مراحل مختلف این فرسایش انجام گرفت باثبات رسیده است.

۲-۶-۲ انواع فرسایش انحلالی و عوامل پیدایش آنها عبارتند از:

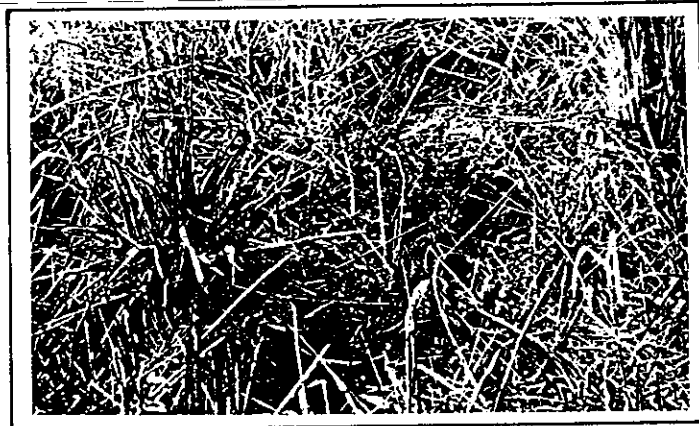
۱-۲-۶-۲ فرسایش انحلالی کم عمق (شکل ۴ و ۵)

عوامل اصلی این نوع فرسایش انحلالی که غالباً در افق های A و یا اولین لایه های افق B خاکها اتفاق می افتد بقرار زیر است:

- ترک برداشتن خاک سطحی بخاطر خشک شدن
- نفوذ سریع آب و عبور از این ترکها و اشباع کامل خاک زیرین
- پراکنش لایه اشباع شده
- ذرات پراکنش یافته مخلوط آب و خاک بعلت وجود شیب هیدرولیکی حرکت نموده و باعث تولید جریان جانبی می گردد.
- ایجاد شدن تونل زمانیکه آب و خاک پراکنش یافته به درون خاک سطحی کوبیده شده رخنه نماید.



شکل شماره ۴- فرسایش انحلالی کم عمق (بعد از نیومن و فیلیبس، ۱۹۵۷)



شکل شماره ۵- فرسایش انحلالی کم عمق نزدیک گاتداگی

- ایجاد شدن تونل زمانیکه آب و خاک پراکنش یافته به درون خاک سطحی کوبیده شده رخنه نماید .

## ۲-۲-۶-۲ فرسایش انحلالی نیمه عمیق ( شکل های ۶ و ۷ )

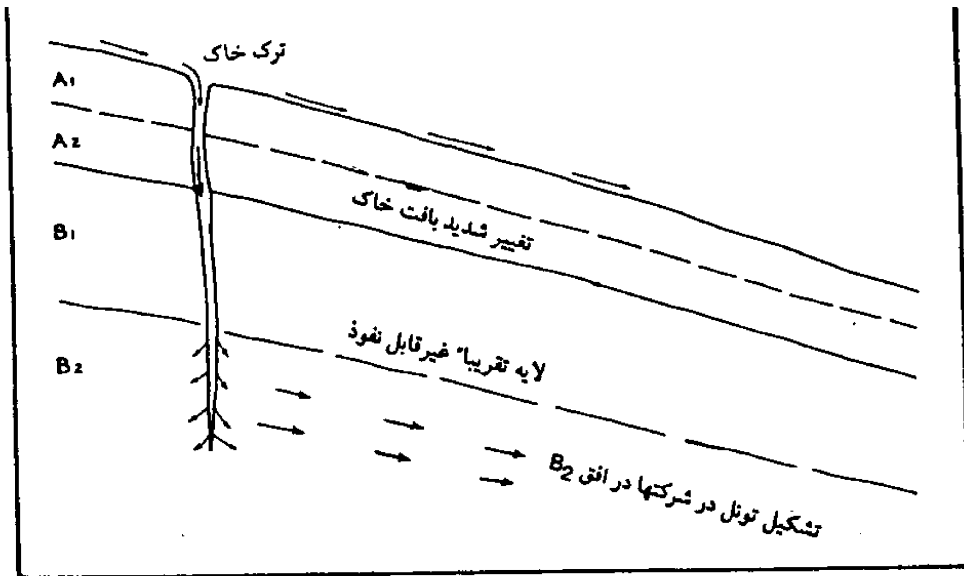
عوامل اصلی این نوع فرسایش که غالباً در لایه های تحتانی افق B خاکها اتفاق می افتد و مقدمه تشکیل خندق است بقرار زیر می باشند :

- خاک عمیقاً ترک برداشته باشد .
- آب نفوذ کرده در نقطه ای تمرکز یافته و با عبور از ترکها در امتداد ترکهای فرعی عمقی بحرکت درآمده و خاک قابل پراکنش را فرسایش می دهد .
- زمانی که آب زیر سطحی در اثر ترکهای سطحی ، در پائین دست شیب به سطح زمین برسد و آزادانه بحرکت در آید در امتداد مسیر جریان ، ایجاد تونل فرسایشی می نماید .

## ۳-۲-۶-۲ فرسایش انحلالی عمیق (شکلهای ۸ و ۹ و ۱۰)

عوامل اصلی این فرسایش که غالباً از خندق ها بوجو می آیند و خود موجب توسعه فرسایش خندقی می شدند قرار زیر است :

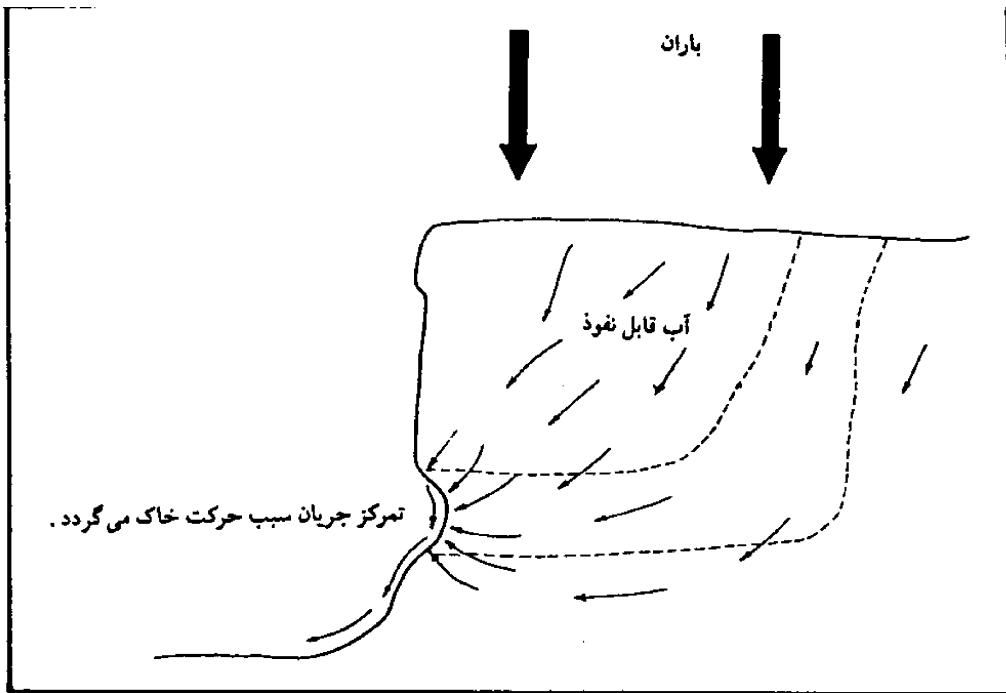
- جریان آب زیرزمینی در یک نقطه در دیواره خندق متمرکز شود .
  - جریان متمرکز ، خاک زیرین قابل پراکنش رابه حرکت در آورده و سبب ایجاد تونل می گردد .
  - وجود یک تونل سبب افزایش آب شده و باعث گسترش بیشتر تونل می گردد .
  - متناوباً ایجاد خندق می شود .
- در پایان لازم است گفته شود که در پیدایش فرسایش انحلالی عمیق دو نوع مکانیزم عمل می کند که در اشکال ۸ و ۹ (مکانیزم اول) و ۱۰ ( مکانیزم دوم ) نشان داده شده است .



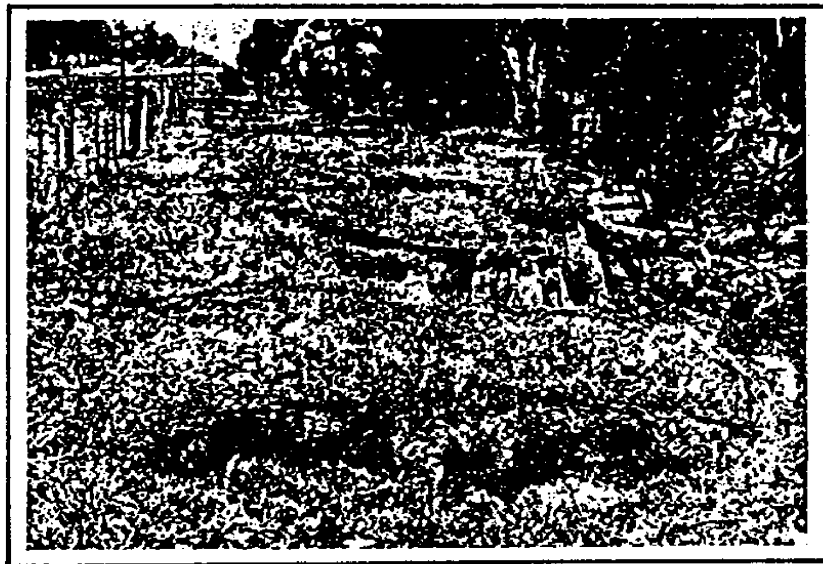
شکل شماره ۶ تونلهای موجود در افق B سرآغاز خندقها



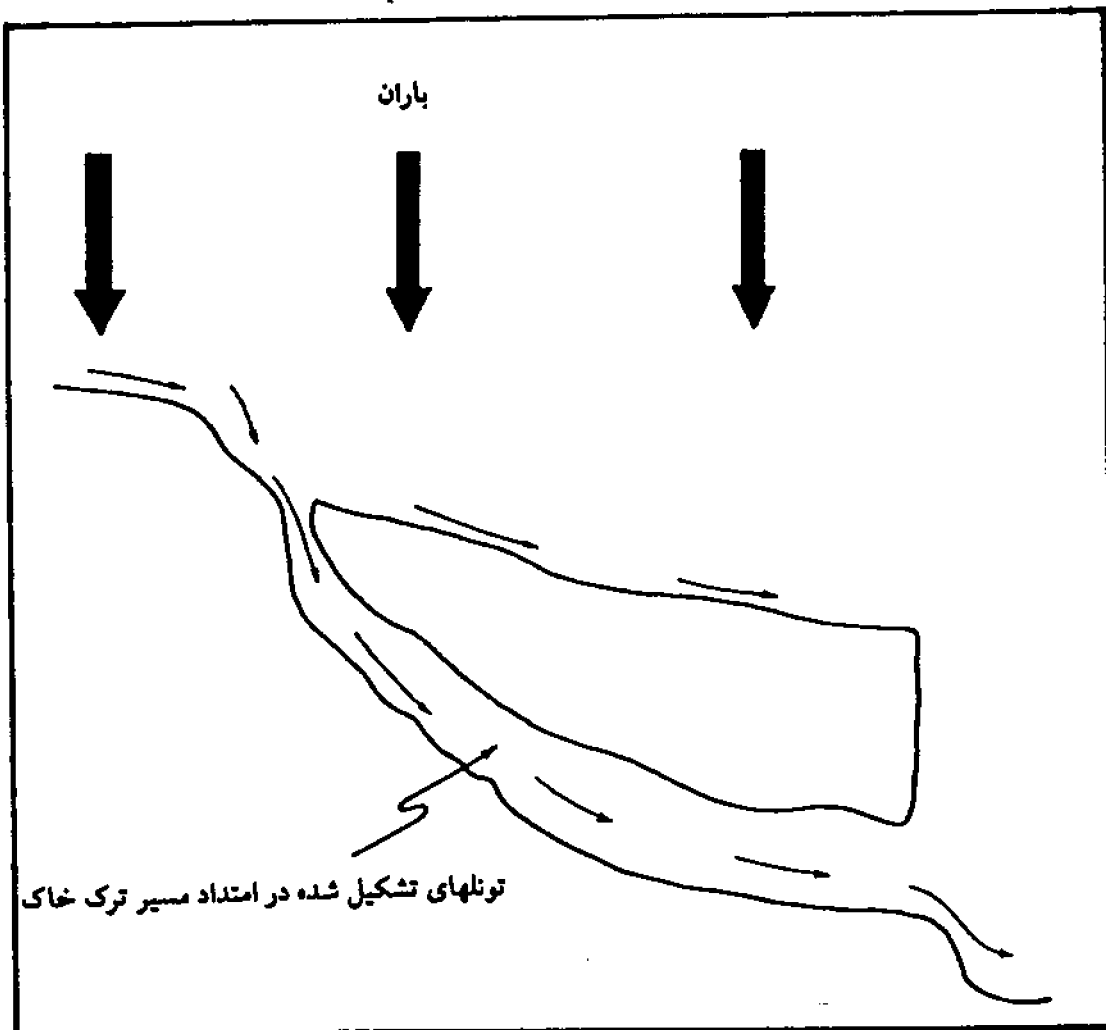
شکل شماره ۷- تونلهای موجود در افق B در ناحیه کوتاموندرا



شکل شماره ۸- تونلها - تمرکز جریان در نقطه ای از دیواره خندق



شکل شماره ۹- تونلهای ایجاد شده توسط خندقها در جنوب واگا



شکل شماره ۱۰ - تونلهای ایجاد شده توسط خندقها - ترک در کنار خندق (هید ۱۹۷۱)

## ۳-۶-۲ عوامل مهم در فرسایش انحلالی

خواص اصلی خاک که باعث فرسایش انحلالی می گردد عبارتند از: ترک خوردن و پراکندگی ذرات خاک:

### ۱-۳-۶-۲ ترک خوردن:

شرایط لازم برای ترک خوردگی سطحی خاک عبارتند از:

- سطحی با پوشش گیاهی کم. این حالت بستگی کامل به اثر آب و هوا بر روی سطح خاک دارد.
- مستعد بودن خاک برای ترک خوردن
- محیط زیست نامناسب مانند یک روز گرم و خشک تابستان که سبب افزایش ترک خوردگی خاک می گردد.

میزان انقباض و انبساط حجم خاکهای مستعد فرسایش انحلالی متفاوت می باشند. فلی چر و کارول<sup>۱</sup> (۱۹۴۸) میزان افزایش حجم اندازه گیری شده در این نوع خاکها را بین ۲/۸ تا ۲۰/۲ درصد اعلام نموده اند. از طرف دیگر<sup>۲</sup> براون (۱۹۶۲) متوجه شد که درجه انقباض خاک در مناطقی که استعداد انحلال دارد بر روی کلیه نمونه ها بیش از ۲۰٪ می باشد. مشاهدات بعدی پارکر<sup>۳</sup> (۱۹۶۳) نشان داد که خاکهای رسی موجود در تخته سنگها نقش زیادی در فرسایش انحلالی دارد.

به گفته جیسیس (۱۹۴۵) گسترش تونل ها در اثر توسعه شکاف های عمیق به اندازه ۳ تا ۹ میلیمتر عرض و ۰/۳ تا ۴ متر طول اتفاق می افتد.

درمقابل دانز<sup>۴</sup> (۱۹۴۶) معتقد است که ترکهای سطحی در ایجاد فرسایش انحلالی نقشی ندارند، زیرا آزمایشهای او نشان داده است که در مناطق قابل فرسایش میزان نفوذ از طریق سطح خاک تا حدود ۵۰ برابر قابل تغییر می باشد.

تمرکز آب در مناطق مشخص مثل حفره های ایجاد شده توسط درختان کهن سال به عنوان عاملی برای اشباع افقهای زیرین و نتیجتاً فرسایش انحلالی بحساب می آید.

ترک اجازه می دهد که آب سطحی بسرعت در لایه های عمیق زیرین خاک خشک نفوذ نماید. تمرکز آب باضافه

1- Fletcher and Carrol

2- Brown

3- Parker

4- Dounes

اشباع خاک مجاور ترکها می تواند سبب پراکندگی شدید ذرات خاک شود ، بصورتیکه آب در امتداد ترکها بحرکت درآمده ، سپس مسیری برای انتقال ذرات خاک پیدا می کند . بنابراین ترک خوردن در توسعه بعضی از انواع فرسایش انحلالی مهم بنظر می رسد .

## ۲-۳-۶-۲ پراکندگی ذرات خاک

پراکندگی در خاک عبارتست از پخش شدن ذرات خاک در اثر افزودن آب . میزان پراکندگی خاک ها در ارتباط با خواص کلوئیدی آنها به روش های مختلف اندازه گیری شده است . تنها یکی از روش های فوق ( آزمایش شاخص پراکندگی ) در ارتباط با پیدایش تونل فرسایشی می باشد چرمن<sup>۱</sup> (۱۹۶۹) . در این مرحله معلوم گردید که خاکهای قابل پراکندگی شدید ناشی از فرسایش انحلالی در مناطق ساحلی مکررا<sup>۲</sup> روی می دهد .

## ۲-۳-۶-۲ علت پراکندگی

در پراکندگی ذرات کلوئیدی خاک دو مرحله وجود دارد انگلس و آیچیسون<sup>۲</sup> (۱۹۶۹)

الف - کاهش پیوستگی بین ذرات :

پیوستگی بین ذرات ممکن است بعلت وجود مواد سیمانی مانند : آکسیدها ، سیلیکات ها یا کربنات ها و نیروهای الکتروشیمیایی یا مواد آلی باشد .

از آنجائیکه سیمان بطور نسبی غیرقابل حل می باشد به عنوان پیونددهنده دائمی تلقی می شود .

از طرف دیگر نیروی خالص الکتروشیمیایی که از برآیند نیروهای مختلف بر روی ذرات رس عمل می کند می توانند در یک زمان نسبتا<sup>۳</sup> کوتاه به میزان چشمگیری تغییر یابد . گرینلند<sup>۳</sup> (۱۹۶۴)

ذیلا<sup>۴</sup> به برخی از عوامل موثر در پراکندگی ذرات اشاره می شود .

---

1-Charman

2- Ingles , Aitchison

3- Green Land

- درجه حرارت

در مورد اثر حرارت در محدود کردن پراکندگی ذرات ، مطالعه چندانی بعمل نیامده است . گرچه بر طبق گفته فلویید<sup>۱</sup> افزایش درجه حرارت سبب افزایش در پراکندگی ذرات می شود .

- مواد آلی

براساس تحقیقات ساچیر و داچ فور<sup>۲</sup> ( ۱۹۶۹ ) و گامبیروهور<sup>۳</sup> ( ۱۹۷۱ ) تثبیت مخلوط مواد آلی محلول بر روی ذرات رس می تواند به پراکندگی کلوییدی کمک کند .

همچنین براساس تحقیقات امرسون و اسمیت ( ۱۹۷۰ ) عصاره برگ انواع اوکالیپتوس سبب افزایش نسبت خاک به آب که شده پراکندگی بیشتر ذرات خاک می شود . از این مسئله چنین نتیجه گرفته می شود که عصاره برگ اضافه شده به یونهای آلومینیم موجود بر روی رس اکسیده شده اثر کرده و سبب کاهش نیروهای فعال جذب بین ذرات رس می گردد .

براساس آزمایشهای ذکر شده فوق مواد آلی سبب افزایش پراکندگی ذرات رس می شوند ولی بنا به گفته امرسون ( ۱۹۶۴ ) در صورتی که وزن ذرات مواد آلی بقدر کافی سنگین باشند ممکن است سبب اتصال دو یا چند ذره بهم شده و در نهایت همآوری ذرات را افزایش خواهد داد .

بطور کلی انتظار می رود که مواد آلی سبب بهبود ساختار خاک و کاهش میزان پراکندگی ذرات شوند . بهرحال در شرایطی که افزایش مواد آلی سبب افزایش پراکندگی ذرات شوند از نظر خاکهای انحلالی از اهمیت خاصی برخوردار می باشند .

ب - جدا شدن ذرات در اثر اعمال ضربه و فشار بر روی توده خاک :

راول و همکاران ( ۱۹۶۹ ) تمرکز الکترولیت لازم برای پراکنش را با روش تکان دادن ، سکون یا نفوذ مقایسه نمودند امرسون ( ۱۹۶۹ ) آب لازم برای پراکندگی ذرات را با میزان اختلاط مکانیکی که عبارتست از زمان لازم برای شکل گرفتن دوباره ذرات پراکنده شده را بررسی نمود . ریت چی<sup>۴</sup> ( ۱۹۶۳ ) اثرات زمان تکان دادن را بر روی تمرکز نسبی

1- Floyd

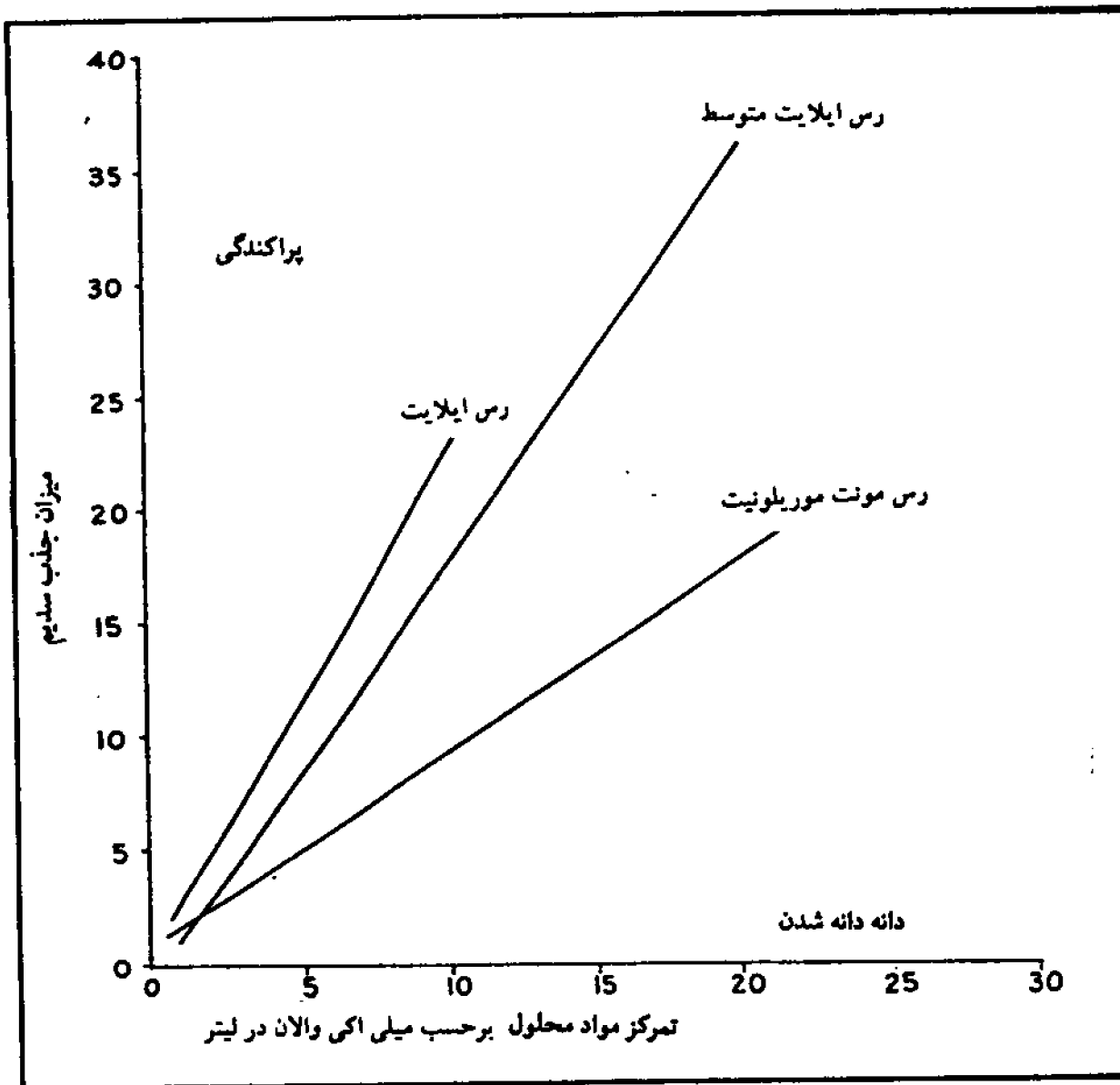
2- Souchier and Douchoufour

3- Gombeer and Hoore

4- Ritchie



ذرات پراکنده شده مطالعه نمود. کلیه مطالعات فوق نشان می دهد که میزان پراکندگی بستگی به زمان و مقدار نیروی وارده دارد.



شکل شماره ۱۱ - پراکندگی ایلیت و مکونت موری لونیت بعنوان عامل شرح جذب سدیم و تمرکز مواد محلول

### ۳- عوامل موثر در فرسایش خاک

مهمترین عوامل فرسایش خاک عبارتند از آب و هوا خصوصیات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و بالاخره نحوه بهره برداری از زمین. هریک از این عوامل بنحوی در فرسایش خاک و در تشدید و همچنین کنترل آن موثرند عوامل مذکور را می توان در دو گروه فرسایش دهنده<sup>۱</sup> و فرسایش پذیر<sup>۲</sup> طبقه بندی کرد.

#### ۱-۳ عوامل فرسایش دهنده

عوامل آب وهوائی هم چنانکه از عناصر موثر تشکیل خاک بشمار می آیند از موثرترین عوامل فرسایش خاک نیز بحساب می آیند. تشکیل خاک در هر نقطه ارتباط مستقیم با عوامل آب وهوائی منجمله باد، بارندگی، دما، رطوبت نسبی و..... دارد. برای تشکیل هر نوع خاکی آب وهوای معین لازمست. تجربیات بسیاری نشان داده است که حتی اگر کلیه عوامل لازم برای تشکیل نوع معینی خاک فراهم باشد، در صورتیکه آب وهوای منطقه برای تشکیل و توسعه آن نوع خاک مساعد نباشد. خاک موردنظر تشکیل نخواهد شد. عوامل آب وهوایی همچنانکه در تشکیل انواع خاکها نقش کلیدی دارند. در فرسایش خاک نیز اهمیت اساسی دارند. مهمترین عوامل آب وهوائی موثر در فرسایش خاک، نوع، میزان و شدت بارندگی، رژیم حرارتی و باد است و از میان آنها شاید بارندگی موثرترین عامل فرسایش خاک بحساب می آید. بگفته گلدمن و همکاران (۱۹۸۰)، باران عامل اصلی انواع فرسایش آبی بشمار می آید. برای این منظور لازم است که کلوخه های خاک شکسته شده و ذرات کوچک قابل حمل بوسیله جریانهای سطحی منتقل شوند. انرژی جنبشی باران موثرترین عامل شکسته شدن کلوخه های خاک و تبدیل آنها به ذرات کوچکتر است این ذرات بعداً بوسیله جریانهای سطحی که بعد از بارندگی بوجود می آید جابجا شده و از محل اولیه خود دور می شوند. میزان مسافتی که ذرات خاک طی می کنند از یک طرف به قطر وابعاد دانه بندی ذرات و از طرف دیگر به میزان و شدت جریانهای سطحی بستگی دارد هر چقدر ذرات کوچکتر، و میزان و شدت جریان سطحی بیشتر باشد، ذرات خاک بفواصل دورتری حمل می شوند و برخی از ذرات کوچک ممکنست در نهایت از طریق شبکه آبراهه های طبیعی وارد رودخانه ها شده و از منطقه خارج شوند.

میزان انرژی جنبشی باران از یکطرف بشدت و مقدار بارندگی و از طرف دیگر بقطر ذرات باران ارتباط دارد. هر قدر شدت بارندگی بیشتر و اندازه ذرات باران بزرگتر باشد میزان نیروی جنبشی باران و در نتیجه نیروی مخرب آن بیشتر است در جدول شماره یک میزان انرژی جنبشی انواع باران با شدت های مختلف نشان داده شده است.

1- Erosivity

2- Erodibility

جدول شماره ۱- میزان انرژی جنبشی انواع باران با مشخصه ها و شدت های مختلف

بارندگی	شدت به اینچ بر ساعت	قطر میانه میلی متر	سرعت ریزش فوت بر ثانیه	تعداد قطرات در فوت مربع در ثانیه	میزان انرژی جنبشی به پوند برفوت مربع در ساعت
مه	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۶۲۶۴۰۰۰	۴/۰۴×۱۰
غبار	۰/۰۰۲	۰/۱	۰/۷	۲۵۱۰	۷/۹۴ ×۱۰
یخ زده	۰/۰۱	۰/۹۶	۱۳/۵	۱۴	۰/۱۴۸
باران سبک	۰/۰۴	۱/۲۴	۱۵/۷	۲۶	۰/۷۹۷
باران متوسط	۰/۱۵	۱/۶۰	۱۸/۷	۴۶	۴/۲۴۱
باران شدید	۰/۶۰	۲/۰۵	۲۲/۰	۴۶	۲۳/۴۷
باران بسیار زیاد	۱/۶۰	۲/۴۰	۲۴	۷۶	۷۴/۱۸
رگبار	۴/۰۰	۲/۸۵	۲۵/۹	۱۱۲	۲۱۸/۶
رگبار	۴/۰۰	۴/۰۰	۲۹/۲	۴۱	۲۷۵/۸
رگبار	۴/۰۰	۴/۰۰	۳۰/۵	۱۲	۳۰۰/۷

همانطور که در جدول فوق دیده می شود هر قدر که بقطر قطرات باران اضافه شود به نیروی جنبشی آن نیز اضافه می گردد ، بطوریکه میزان انرژی جنبشی باران با قطر قطرات حدود ۶ میلی متر نزدیک به ۲۰۰۰ برابر بارانی است که متوسط قطر قطرات آن حدود ۱ میلی متر باشد .

بعلاوه یک باران کوتاه مدت اما با شدت زیاد می تواند موجب فرسایشی چندین برابر بیشتر از یک باران طولانی مدت ولی با شدت کم شود .

برای محاسبه میزان جابجائی خاک بر اثر نیروی جنبشی باران فرمولهای تنوریک و تجربی بسیاری پیشنهاد شده است که از جمله می توان از فرمول بابونزرو جونز<sup>۱</sup> ( ۱۹۷۱ ) نام برد .

$$D_i = C(E)^m n^n$$

1- Bubonzer , jones

که در آن :

$D$  = مقدار خاک جابجا شده بر اثر برخورد قطرات باران

$E$  = نیروی جنبشی باران

$I$  = شدت بارندگی

$C$  = ضریب ثابت

$m, n$  توان انرژی جنبشی و شدت بارندگی که مقدار عددی آنها بین ۰/۲۷ تا ۰/۵۵ برای  $m$  و ۰/۸۳ تا ۱/۴۹ برای  $n$  است .

تجربیات بسیاری نشان داده است که میزان خاک پراکنده شده بر اثر نیروی جنبشی باران تابع نمائی از میزان انرژی جنبشی باران است . بعلاوه مقدار آن به نوع خاک نیز بستگی دارد .

کوانسه <sup>۱</sup> ( ۱۹۸۱ ) روابط ذیل را بین نیروی جنبشی باران ، نوع خاک و مقدار خاک پراکنده شده پیدا کرده است .

$D_{det} = ۰/۰۰۰۲ KE^{۱/۰۶}$  شن استاندارد

$D_{det} = ۰/۰۰۰۷ KE^{۰/۸۴}$  شن

$D_{det} = ۰/۰۰۰۴ KE^{۱/۱۶}$  رس و لوم

$D_{det} = ۰/۰۰۰۲ KE^{-۱/۳۵}$  رس

که در آن :

$D_{det}$  = میزان خاک پراکنده شده بر حسب تن بر کیلومتر مربع

$KE$  = انرژی جنبشی باران بر حسب متر تن بر هکتار میلیمتر می باشد .

برای محاسبه میزان انرژی جنبشی یک باران ویشمایر و اسمیت ( ۱۹۵۸ ) فرمول زیر را پیشنهاد کرده اند :

$$E_K = ۱۲/۱ + ۸/۹ \log i$$

که در آن :

$E_K$  = انرژی جنبشی باران بر حسب متر - تن بر هکتار میلیمتر

$i$  = شدت بارندگی بر حسب میلی متر در ساعت

می باشد .

آب و هوای فقط بطور مستقیم بلکه بطور غیرمستقیم یعنی از طریق تاثیر بر عوامل محیطی و منجمله پوشش گیاهی نیز بر میزان فرسایش اثر می‌گذارد. نوع تراکم پوشش گیاهی ارتباط مستقیم با میزان و پراکنش بارندگی هر منطقه دارد و به این ترتیب آب و هوا از طریق تاثیر بر نوع و تراکم پوشش گیاهی بر شدت فرسایش اثر می‌گذارد.

در مناطق سردسیر با آب و هوای کوهستانهای مرتفع آلاین پوشش گیاهی بدلیل دوره کوتاه رشد و سرمای زیاد چندان متنوع و متراکم نیست ولی در عوض بیشتر بارندگی سالانه در این مناطق بصورت برف نازل می‌شود که در مقایسه با باران از نیروی جنبشی و بالتیجه قدرت تخریبی بسیار کمتری برخوردار است. و از این رو در این مناطق با تراکم پوشش گیاهی برابر با نقاط گرمسیری، میزان فرسایش ناشی از مقدار معینی بارندگی بسیار کمتر از مناطق گرمسیری است که در آن نوع نزولات بصورت باران است. از طرفی در مناطق خشک نیز اگر چه پوشش گیاهی بعلت شرایط آب و هوایی بسیار محدود است ولی بدلیل کمی نزولات جوی میزان فرسایش سالانه در مجموع کمتر از مناطق پرباران است. برابر تحقیقات لانگبین و شوام<sup>۱</sup> در شرایط برابر از نظر توپوگرافی بیشترین مقدار فرسایش خاک در مناطق با بارندگی سالانه از ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی متر اتفاق می‌افتد. در مناطق با بارندگی بیشتر پوشش گیاهی بمیزانی است که می‌تواند اثر فرساینده باران و جریان سطحی را به میزان زیادی خنثی کند و در مناطق با بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی متر اصولاً میزان بارندگی و جریانهای سطحی چندان نیست که موجب فرسایش شدید گردد.

از آنجائیکه از میان کلیه عوامل آب و هوایی، نزولات جوی بخصوص باران نقش اساسی در فرسایش خاک دارد ذیلاً به تفصیل از بارندگی و نقش آن در فرسایش گفتگو می‌شود:

۳-۱-۱ بارندگی و نقش آن در فرسایش

۳-۱-۱-۱ اشکال مختلف بارش:

- باران: ریزش به صورت مایع باشد
- نم باران: در این حالت قطر قطرات باران بین ۰/۱ تا ۰/۵ میلی متر بوده و به آرامی بر سطح زمین باریده می‌شود شدتی کمتر از ۱ میلی متر در ساعت را دارد.
- تگرگ: بر اثر تعداد دفعات ذوب و انجماد در هنگام عبور از لایه های مختلف حرارتی ابرهای تشکیل دهنده آن به وجود آمده و معمولاً قطر نسبتاً زیادی بین ۵ تا بیش از ۱۲۵ میلی متر را داراست.
- برف: چنانچه بخار آب مستقیماً به یخ تبدیل شود کریستالهای مخصوصی به وجود آورده که از بهم پیوستن آنها یک ذره برف تشکیل می‌شود.

۳-۱-۱-۲ شدت بارندگی:

مقدار متوسط شدت بارندگی از نسبت ارتفاع بارندگی به مدت بارش بدست می‌آید و از عوامل لازم در بررسی سیلابها

می‌باشد. به عبارتی دیگر می‌توان عبارت فوق را به صورت  $\frac{P}{t} = i$  که در آن  $i$  شدت بارندگی به میلیمتر در ساعت  $P$  مقدار بارش بر حسب (میلیمتر) و  $t$  زمان بر حسب ساعت می‌باشد. به عبارتی مقدار باران در واحد زمان را شدت بارندگی گویند. معمولاً مدت بارندگی در مورد رگبارها و بارندگیهای کنوکسیون کوتاه و در حد چند دقیقه و در مورد بارندگیهای جبهه‌ای و کوهستانی در حد چند ساعت تا یکی دوشبانه‌روز می‌باشد. شدت حداکثر بارش را با توجه به مدت بارندگی (تفاضل زمان شروع و خاتمه باران) بر حسب زمانهای ۱۵ و ۳۰ و ۶۰ و ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه ۳ و ۶ و ۱۲ و ۱۸ و ۲۴ و ۳۶ و ۴۸ و ۷۲ ساعته تعیین نموده و گرافهای مربوطه ترسیم می‌گردد.

### ۳-۱-۱-۳ روش محاسبه شدت در زمانهای جزئی موردنظر

چنانچه منظور محاسبه شدت در فواصل جزئی  $\Delta t$  بادقت  $\propto$  باشد. و زمان شروع و خاتمه رگبار را براساس گراف باران سنج ثابت زمانهای  $a$  و  $a + \Delta t$  بنامیم در این صورت در فواصل بشرح زیر:

$$a, a + \Delta t$$

$$a + \propto a + \propto + \Delta t$$

$$a + 2\propto a + 2\propto + \Delta t$$

به استخراج مقادیر باران اقدام نموده که در نهایت مقادیر شدت برآورد می‌گردد.

جدول زیر چگونگی برآورد را مشخص می‌نماید.

جدول شماره ۲- محاسبه شدت در زمانهای جزئی

زمان به ساعت	میزان بارش به میلیمتر	شدت به میلیمتر در ساعت
$a, a + \Delta t$	$p_1$	$\frac{P_1}{\Delta t}$
$a + \propto a + \propto + \Delta t$	$p_2$	$\frac{P_2}{\Delta t}$
$a + 2\propto a + 2\propto + \Delta t$	$p_3$	$\frac{P_3}{\Delta t}$

مثلاً چنانچه شروع بارش ساعت ۱۰، خاتمه بارش ساعت ۱۱ و دقت ۱۵ دقیقه‌ای موردنظر

باشد در صورتیکه  $\Delta t = \frac{1}{4}$  باشد. مقادیر بارش و شدت در زمانهای  $\frac{1}{4}$ ،  $10 - \frac{1}{4}$ ،  $10 - \frac{3}{4}$  و  $11 - \frac{1}{4}$  محاسبه می‌گردد.

### ۳-۱-۱-۴ منحنی های شدت مدت<sup>۱</sup>

براساس محاسبات انجام یافته در مرحله قبل و براساس رگبارهای انتخاب شده، به استخراج حداکثر شدت در زمانهای جزئی معین (بررسی شده برای تمام رگبارها) اقدام نموده و در نهایت پس از دست یابی به مقادیر حداکثر شدت در زمانهای جزئی به ترسیم منحنی های شدت مدت اقدام می گردد نتیجه اینکه با افزایش مدت بارندگی شدت بارندگی کاهش می یابد سرانجام پس از تحلیل نقطه ای جهت کلیه رگبارها منحنی های شدت - مدت دوره برگشت رسم می شود تا بتوان در مواقع لزوم با توجه به دوره برگشت و زمان مورد نظر مقادیر شدت را استخراج نمود.

### ۳-۱-۱-۵ برآورد شدت های موردنظر در حوزه های آبخیز

برای برآورد شدت های مختلف باران سه حالت ممکنست وجود داشته باشد.

الف: در صورتی که گراف باران سنج ثبات در مدت دوام موردنظر در حوزه وجود داشته باشد: که در این حالت با مشکلی روبرو نبوده و براساس توضیحات قبلی به استخراج شدت های موردنظر اقدام می نمایم.

ب: در صورتی که گراف باران سنج ثبات در مدت دوام موردنظر در حوزه وجود نداشته باشد ولیکن امکان دسترسی به آمار ریزش های مختلف در پایه های زمانی مختلف دیگر موجود است:

در این حالت می توان براساس فرمولهای تجربی مختلف که ذیلاً ارائه می گردد به برآورد پارامترهای فرمول اقدام و سپس با برآورد ضرائب منطقه ای جدید از آن استفاده نمود.

$$i = \frac{a}{b+t} \quad \text{(فرمول تالبوت) برای رگبارهای ۵ دقیقه تا ۱۲۰ دقیقه}$$

$$I = a(t-b)^{-n} \quad \text{(فرمول گریسوله) برای رگبارهای بیش از ۲ ساعت}$$

$$I = \frac{k}{t^n}$$

$$I = kt^{-x}$$

که در آنها:

$i$  = حداکثر شدت بارندگی به طور متوسط در پایه زمانی  $t$  معمولاً به میلیمتر در ساعت

$t$  = پایه زمانی موردنظر

$a, b, n, k, x$  ضرائب منطقه ای هستند

از فرمولهای تجربی مورد استفاده دیگر فرمول بیلهام می باشد که در سال ۱۹۳۵ در انگلستان ارائه شده است.

$$I = \frac{60}{t} [(2.02/3 Nt)^{0.282} - 2/54]$$

که در آن:

$I$  = حداکثر شدت بارندگی به میلیمتر در ساعت

=t پایه زمانی موردنظر به ساعت

=N فرکانس وقوع در هر ۱۰ سال یا  $\frac{1}{n}$  که n تعداد وقوع در هر ۱۰ سال است .

ج - در صورتی که امکان دسترسی به بارانهای ۲۴ ساعته وجود داشته باشد: این حالت در اغلب حوزه‌های آبخیزی که دارای باران‌سنج معمولی باشند امکان‌پذیر می‌باشد. فرمول ارائه شده توسط سازمان خواربار و کشاورزی جهانی به صورت

$$I = \frac{P}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{0.6}$$

که در آن:

=i حداکثر شدت بارندگی به میلی‌متر بر ساعت برای دوره بازگشت ده‌ساله

=P حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره برگشت ده ساله

=t پایه زمانی موردنظر به ساعت است .

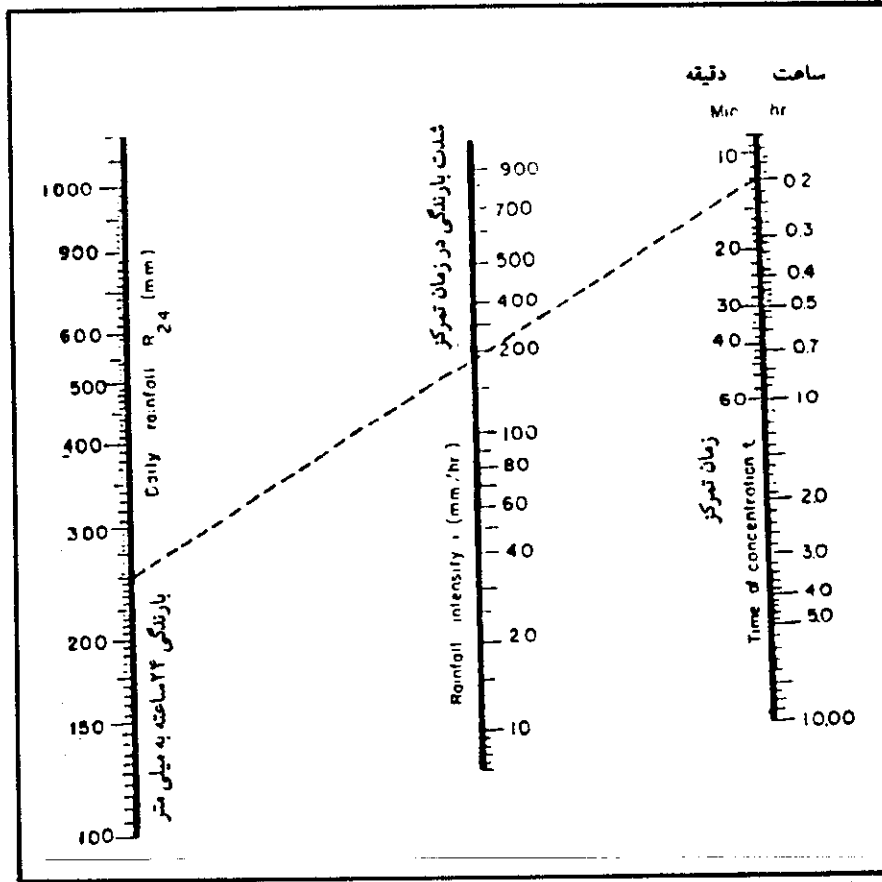
جهت برآورد حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره برگشت ۱۰ ساله می‌توان از روشهای موجود استفاده نمود. که ذیلاً به شرح آنها پرداخته می‌شود.

- روش گرافیکی: در این روش مقادیر حداکثر ۲۴ ساعته استخراج شده براساس برگه های روزانه بارندگی به ترتیب صعودی و یا نزولی مرتب شده و سپس بعد از نسبت دادن احتمال  $\frac{m}{n+1}$  که در آن m شماره ردیف مربوطه و n تعداد کل ردیف‌ها می‌باشد نقاط مزبور شامل مقدار بارش و احتمال موردنظر را بر روی کاغذهای احتمالی مختلف، مشخص می‌نمائیم. حال چنانچه پراکنش نقاط بر روی اوراق احتمالی نمایش یک خط باشد در این صورت برازش قانون مزبور بر نقاط پلات شده می‌باشد. از این مرحله به بعد مقادیر بارندگی با دوره برگشت‌های موردنظر استخراج می‌گردد. برای مثال در این قسمت که بارندگی حداکثر ۲۴ ساعته با دوره برگشت ۱۰ ساله موردنیاز است، کافی است براساس احتمال ۰/۱ و با توجه به خط برازش داده شده مقدار باران با دوره برگشت ۱۰ ساله برآورد نمود.

- روش تحلیلی: در این روش براساس توزیع‌های مختلف پس از برآورد پارامترهای توزیع خطای استاندارد را براساس توزیع‌های انتخابی تشکیل داده و در نهایت چنانچه مقادیر خطای استاندارد مورد مقایسه قرار گیرد، توزیعی که خطای استاندارد کمتری را به خود اختصاص می‌دهد مورد استفاده قرار می‌گیرد. منظور از خطای استاندارد انحراف معیار محاسبه‌ای بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌ای بارش (توزیع‌های مختلف) می‌باشد. عملاً می‌توان جهت برآورد مقادیر محاسبه‌ای براساس توزیع‌های مختلف از روشهای مختلف از قبیل ماکزیمم لایک لیوود و یا گشتاورها پارامترهای توزیع را برآورد نمود. با توجه به آن که هدف پیدا کردن مقادیر حدی می‌باشد معمولاً در بیشتر موارد توزیع گامبل، توزیع مناسبی جهت داده‌های بارندگی می‌باشد. " هر چند که توزیع‌های دیگر نیز لازم است مورد ملاحظه قرار گیرد " .



روش دیگر موجود در این حالت استفاده از نئوگراف زیر می باشد. در این روش بارندگی حداکثر ۲۴ ساعته بادیوره برگشت ۱۰ ساله راروی محور مربوطه مشخص نموده و آن را به نقطه تمرکز زمان حوزه برحسب دقیقه و یا ساعت برروی محور مربوطه وصل کرده و محل تلاقی خط ترسیمی با خط وسطی شدت بارندگی در زمان تمرکز را مشخص می سازد.



شکل شماره ۱۲ - نئوگراف برآورد شدت بارندگی در زمان تمرکز حوزه

چنانچه در حوزه مورد مطالعه آماری وجود نداشته باشد. در این صورت برای برآورد شدت بارندگیها با دوره برگشت های مختلف چنین حوزه هائی می توان از آمار و اطلاعات حوزه های مجاور که از نظر اقلیمی و هیدرولوژیکی مشابه حوزه موردنظر باشد استفاده نمود. براساس روشهای ارائه شده پیشین ضرائب موردنظر انتخاب می گردد. در این جا نیز می توان ضریب تعدیلی براساس فاصله ایستگاههای باران سنجی انتخابی در حوزه مجاور با حوزه موردنظر اعمال کرد.

در کنار حالت های بیان شده می توان از فرمولهای تجربی دیگری مانند فرمول بیل که به صورت زیر می باشد استفاده نمود.

$$\frac{P_T^t}{P_{10}^t} = 0.21 \ln + 0.52 \quad 2 \leq T \leq 100$$

که در آن :

$P_T^t$  = ارتفاع بارندگی در مدت زمان  $t$  دقیقه با دوره برگشت  $T$  سال

$P_{10}^t =$  ارتفاع بارندگی در مدت زمان  $t$  دقیقه با دوره برگشت ۱۰ سال

$T =$  دوره برگشت می باشد .

از طرفی رابطه زیر بر مبنای ارتفاع بارندگی در مدت ۶۰ دقیقه به صورت:

$$\frac{P_T^t}{P_{60}^t} = 0.54 t^{0.25} - 0.5 \quad 5 \leq T \leq 120$$

می باشد . چنانچه دو رابطه فوق را با هم ادغام نمائیم خواهیم داشت :

$$P_T^t = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54 t^{0.25} - 0.5) P_{10}^{60} \quad 2 \leq T \leq 100$$

از ترکیب فرمول فوق به همراه فرمول سازمان خواربار و کشاورزی جهانی قادر خواهیم بود که در ابتدا بر اساس

فرمول قید شده بارندگی ۶۰ دقیقه ای با دوره برگشت ۱۰ ساله را محاسبه نمود و سپس بر اساس زمان جزئی

مورد درخواست به همراه دوره برگشت مورد نظر  $P_T^t$  را برآورد نمود .

گاهی از اوقات بارندگی یکساعته با دوره برگشت ۲ ساله نیز می تواند برای محاسبه مقدار بارندگی در دوره های

زمانی مختلف با دوره برگشت های مختلف استفاده نمود.

$$P_T^t = (0.35 \ln T + 0.76)(0.54 t^{0.25} - 0.5) P_{2}^{60}$$

## ۲-۳ عوامل فرسایش پذیر

### ۱-۲-۳ خصوصیات خاک :

از مهمترین عوامل فرسایش خاک ، نوع خاک است . خاکها بدلیل ماهیت و خصوصیات خود دارای حساسیت های متفاوتی در برابر عوامل فرساینده می باشند . برخی از خاکها کمتر و برخی بیشتر حساسند . از مهمترین خصوصیات خاک که در فرسایش آن موثرند عبارتند از : بافت ، ساختمان ، میزان مواد آلی و شدت نفوذپذیری و میزان اصلاح . هر یک از این عوامل بتنهائی و در عین حال در ارتباط با یک دیگر در میزان حساسیت و نتیجتاً شدت فرسایش پذیری هر نوع خاک موثرند .

بافت خاک در واقع به نسبت یا نحوه ترکیب ذرات سه گانه تشکیل دهنده آن یعنی شن ، لای و رس گفته می شود . هر چه قدر نسبت ذرات شن به لای و رس بیشتر باشد خاکها دارای بافت درشتتری هستند و در عوض در خاکهای با بافت نرم نسبت ذرات رس و لای بیشتر از رس است در مجموع خاکهای با بافت درشت بدلیل نفوذپذیری زیاد و وزن نسبتاً بیشتر ذرات شن کمتر پراکنده و شسته می شوند . نفوذپذیری زیاد این خاکها ( خاکهای شنی ) موجب نفوذ قسمت بیشتر باران در خاک و نتیجتاً تولید کمتر جریان سطحی که موجب جابجائی و شسته شدن خاکها می شود می گردد و برعکس در خاکهای با بافت ریزتر ، به دلیل نفوذپذیری کمتر خاکها ، جریان سطحی بیشتر ، نتیجتاً امکان جابجائی خاک بیشتر است . ساختمان خاکها نیز در شدت فرسایش پذیری آنها موثر است . خاکهای با ساختمان منظم کمتر از خاکهای بدون ساختمان در معرض فرسایش قرار می گیرند . بعلاوه ساختمان خاک از عوامل تعیین کننده شدت نفوذپذیری خاکهاست . مواد آلی خاک نیز از عوامل بسیار مهم در تعیین شدت فرسایش پذیری خاکها بشمار می آیند . مواد آلی غالباً از بقایای گیاهان ، بعد از متلاشی شدن در خاکها حاصل می شود . بطور کلی مواد آلی خاک بدلیل بهتر کردن ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری آن ، نقش موثری در کاهش فرسایش دارد بعلاوه مواد آلی موجب افزایش ظرفیت نگاهداری رطوبت خاک شده و از این طریق نیز موجب نگاهداری بیشتر بارندگی ها می شود و بالتبجه از جریان سطحی می کاهد . از طرفی پاره ای از آزمایشها نشان داده است که در برخی از خاکها مواد آلی موجب پیدایش حالت آب گریزی<sup>۱</sup> شده و بالتبجه از میزان نفوذپذیری خاکها می کاهد و همین موضوع موجب افزایش جریان سطحی و افزایش فرسایش خاک می شود . این حالت بخصوص در خاکهای شنی با میزان رس کمتر از ۱۰ درصد بسیار دیده می شود .

### ۲-۲-۳ توپوگرافی

1- Water Repellency

مهمترین عوامل توپوگرافیک موثر در فرسایش خاک عبارتند از درجه شیب، جهت شیب و شکل یا حالت پستی و بلندی.

درجه یا شدت شیب عامل بسیار مهمی در تعیین میزان فرسایش پذیری خاکهای یک منطقه می باشد. در شرایط برابر آب و هوایی و پوشش گیاهی، شدت فرسایش در اراضی با شیب بیشتر بسیار زیادتر از اراضی با شیب کمتر است.

شیب زمین قبل از هر چیز در میزان نفوذ آب در خاک و در سرعت جریانهای سطحی دخالت دارد. در اراضی شیب دار باران نازل شده فرصت کمتری برای نفوذ در خاک دارد. بالنتیجه بسته به درجه شیب قسمت زیادتری از باران به جریان سطحی تبدیل می شود. بعلاوه در اراضی شیب دار سرعت جریان سطحی و بالنتیجه قدرت تخریبی آن نیز بیشتر است.

تجربیات انجام شده توسط ( ۱۹۸۱ ) نشان می دهد که اثر تخریبی نیروی جنبشی باران در اراضی شیبدار بسیار بیشتر از اراضی مسطح است و بعلاوه شدت پراکندگی خاک و میزان خاک فرسایش یافته با افزایش شیب افزوده می گردد. جدول شماره ۲ رابطه بین میزان خاک پراکنده شده بر اثر باران با شیب و میزان انرژی جنبشی باران در انواع خاکها را نشان میدهد.

جدول شماره ۳- رابطه پراکندگی انواع خاک با شیب

رابطه پراکندگی خاک با شیب	نوع خاک
$D_{det} = 0.0002 KE^{1/06} s^1$	شن استاندارد
$D_{det} = 0.0003 KE^{0/84} s^{0/13}$	شن
$D_{det} = 0.003 KE^{1/16} s^{1/25} \text{ Loam}$	رس و لومی
$D_{det} = 0.0001 KE^{1/35} s^{0/27}$	رس

که در آن :

$$D_{det} = \text{میزان خاک پراکنده شده بر اثر باران بر حسب تن بر کیلومتر مربع}$$

$$KE = \text{انرژی جنبشی باران بر حسب متر تن بر هکتار میلیمتر}$$

$$s = \text{درصد شیب}$$

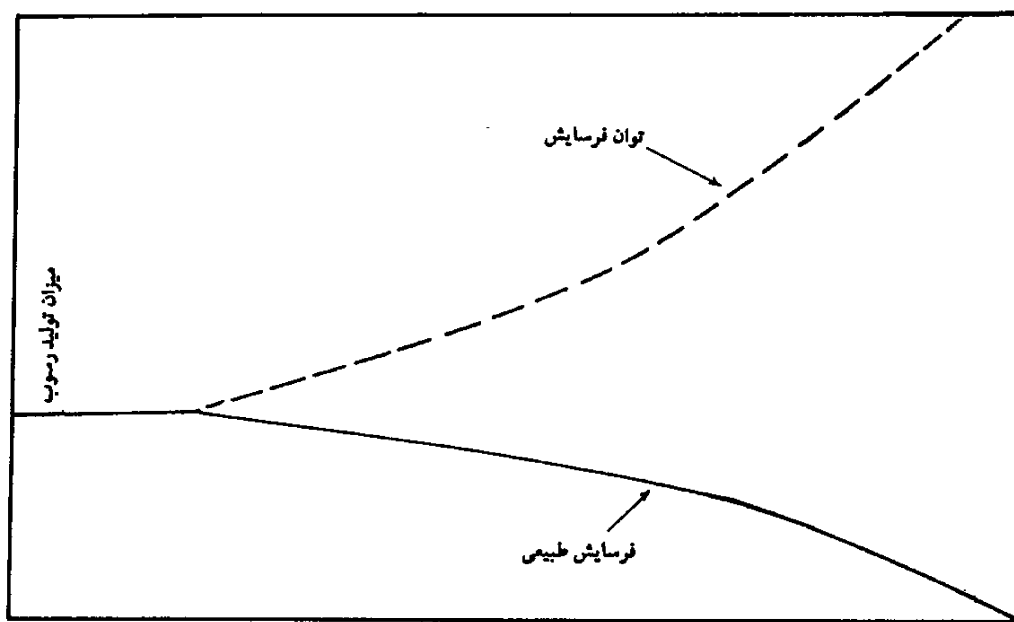
اثر شیب در فرسایش غالباً با پوشش گیاهی تعدیل می‌شود. جهت شیب نیز اهمیت زیادی در فرسایش خاک دارد. بطور کلی در نیمکره شمالی میزان حرارت دریافتی در شیبهای جنوبی و غربی بیشتر از شیبهای شمالی و شرقی است و بالتیجه خاک در شیبهای شمالی دارای رطوبت بیشتر و پوشش گیاهی متراکم تری است، و در شرایط، برابر بدلیل پوشش بیشتر، فرسایش کمتری دارند.

بررسیهای انجام شده نشان داده است که شکل توپوگرافی و موقعیت خاک در هر نقطه از یک عارضه فیزیوگرافیک نیز تا حدودی در فرسایش خاک موثر است بگفته گلدمن و همکاران (۱۹۸۶) میزان فرسایش خاک در دامنه شیبها بسیار بیشتر از ابتدای شیب است و دلیل آن نیز سرعت و حجم بیشتر جریان سطحی در قسمتهای انتهایی دامنه ها است.

### ۳-۲-۳ پوشش گیاهی :

پوشش گیاهی نقش بسیار مهمی در کاهش میزان فرسایش خاک دارد. بگفته موویگ و پاکر<sup>۱</sup> (۱۹۷۶) در شرایط طبیعی و بدون دخالت انسان اثر پوشش گیاهی در کنترل فرسایش از هر عامل دیگری مهمتر است.

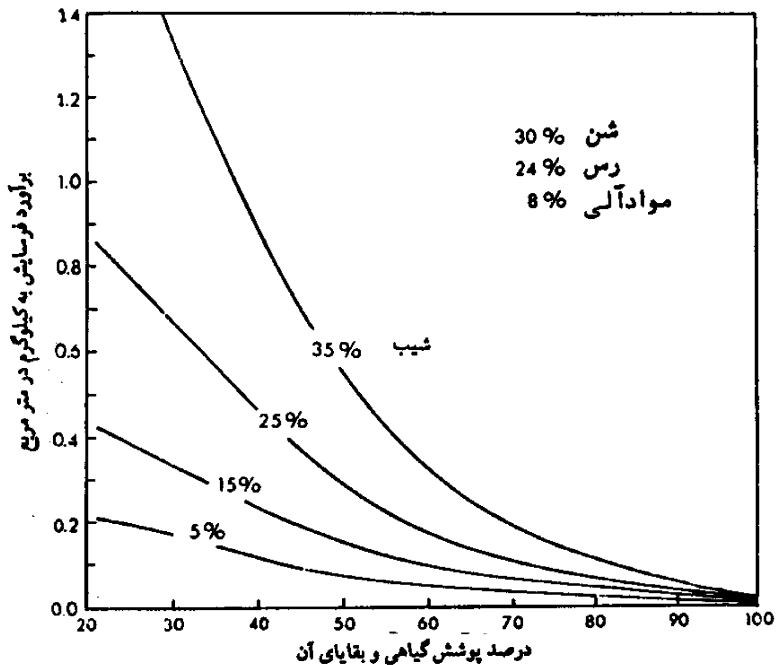
تجربیات بسیاری نشان داده است که بین تراکم پوشش گیاهی و میزان فرسایش خاک ارتباط مستقیم وجود دارد. هر قدر تراکم پوشش گیاهی بیشتر باشد میزان فرسایش کمتر است (شکل شماره ۱۳)



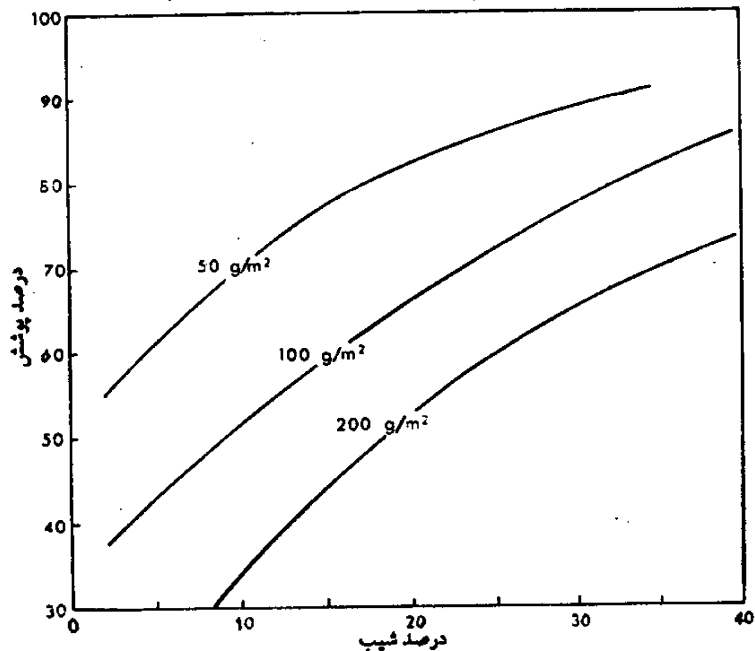
شکل شماره ۱۳ - کاهش فرسایش طبیعی و افزایش پتانسیل فرسایش در شرایط مختلف پوشش خاک

1- Meeuwig and Packer

اثر پوشش گیاهی بخصوص در مناطق شیبدار بسیار مهم است. وقتی تراکم پوشش گیاهی در اراضی شیبدار از میزان معینی کمتر می شود، به میزان فرسایش خاک سرعت افزوده می شود و با افزایش شیب این فرسایش تشدید می یابد در صورتیکه تراکم پوشش گیاهی از مقدار معینی بیشتر باشد افزایش شیب تاثیر زیادی در فرسایش ندارد ( شکل شماره ۱۴ و ۵)



شکل شماره ۱۴- رابطه فرسایش خاک با درصد پوشش گیاهی و بقایای آن در شیب های مختلف



شکل شماره ۱۵- اثرات گرادیان شیب و درصد پوشش گیاهی و بقایای آن در خاکهاییکه در مقابل رگبار ۳۰ دقیقه ای با شدت ۲/۱ میلیمتر در دقیقه بترتیب بمیزان ۵۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در متر مربع فرسایش یافته اند.

نحوه بهره‌برداری از زمین یکی از عوامل بسیار مهم در فرسایش خاک است. در طبیعت، فرسایش در تعادل، با سرعت تشکیل خاک است بطوریکه در درازمدت خاک لازم برای تامین حیات گیاهان بوجود می‌آید. بهره‌برداری نادرست انسان می‌تواند موجب برهم خوردن تعادل طبیعی و بروز فرسایش تشدید شده شود، بطوریکه ممکن است بر اثر پاره‌ای از فعالیتهای انسان میزان فرسایش در مدت کوتاه بسرعت افزایش یافته و موجب از دست رفتن خاک و عواقب ناشی از آن شود. بطورکلی فرسایش تشدید شده یعنی فرسایش بیش از میزان طبیعی عمدتاً در اثر فعالیت انسان و بهره‌برداری نادرست و بیش از حد منابع طبیعی و محیط زیست خود ناشی می‌شود. بهمین دلیل کنترل فرسایش تشدید شده تنها با تغییر روشهای بهره‌برداری از اکوسیستم‌ها ممکن است و برای این منظور لازم است که عوامل فرسایش تشدید شده و در واقع انواع فعالیتهای انسان که به فرسایش تشدید شده منجر می‌شود، شناخته شود و براساس آن، شیوه‌های مناسب با فرسایش معرفی و نشان داده شود.

#### ۴- نقش فرسایش در تشکیل و تکامل خاکها

خاکها بستر حیات و محل تشکیل و تکامل انواع زندگی، خاصه زندگی گیاهی می باشند بدون وجود خاک مناسب تشکیل و تکامل جوامع گیاهی امکان ندارد.

در تشکیل خاکها عوامل زیادی دخالت دارند که از مهمترین آنها باید از عوامل آب وهوائی و سنگ مادری نام برد. سنگ مادری در واقع ماده اولیه ایست که از تخریب و تغییر تدریجی آن، خاک بوجود می آید.

بوگتن<sup>۱</sup> (۱۹۷۶) معتقد است که در شرایط برابر آب وهوائی، نوع و ماهیت خاک تشکیل شده قبل از هر چیز به نوع سنگ مادری بستگی دارد و در برابر آن در شرایط متفاوت آب و هوایی از یک نوع سنگ مادری یا ماده اولیه ممکنست خاکهای گوناگونی بوجود آید.

استراهلر<sup>۲</sup> (۱۹۷۶) منشاء موادی را که خاک ها از آنها بوجود می آیند بدو دسته آذرین و رسوبی تقسیم کرده است. مواد رسوبی در حقیقت خاکهائی هستند که در طول زمان از محل اولیه خود شسته شده و بوسیله آبهای جاری به نقاط دیگر برده شد و منشاء خاکهای جدیدی شده اند.

بگفته موویگ و پاکر (۱۹۷۶) منشاء تقریباً تمامی مواد تشکیل دهنده خاکهای جلگه های سیلابی رسوباتی است که از ارتفاعات مشرف باین جلگه ها شسته شده و در طول زمان باترسیب خود در دامنه ها، این جلگه ها را بوجود آورده اند. از اینرو باید گفت که اگر چه در پاره ای مواقع فرسایش در یک نقطه موجب از دست رفتن خاک می شود ولی در عوض در جای دیگر موجب پیدایش خاک جدید می شود.

تحقیقات زیادی نشان داده است که فرسایش به میزان طبیعی نه فقط موجب تضعیف اکوسیستم ها نمی شود بلکه به تشکیل خاک جدید و افزایش باروری اکوسیستم ها نیز کمک می کند. به همین دلیل فرسایش خود بخشی از فرآیند تکامل اکوسیستم ها بشمار می آید.

هادلی و والینگ<sup>۳</sup> (۱۹۹۰) معتقدند که در حوزه های بزرگ انتقال و جابجایی خاک فرسایش یافته غالباً در داخل همان حوزه انجام می شود و تنها درصد کوچکی از خاک فرسایش یافته از حوزه خارج می شود، در حالیکه در حوزه های کوچک ممکنست قسمت اعظم خاک فرسایش یافته از طریق شبکه آبراهه ها از حوزه خارج شوند. تحقیقات انجام شده در غرب امریکا نشان داده است که در شرایط برابر، تشکیل خاک از مواد رسوبی بجامانده از

1- Boughton

2- Strahler

3- Walling and Hadling



آبهای جاری بسیار سریعتر از تخریب پوسته روئین زمین انجام می شود. در حالیکه تشکیل خاک از مواد آذرین ابتداء لازمست که این مواد بر اثر عوامل آب و هوایی تخریب و تجزیه شده و سپس بتدریج از آنها خاک بوجود آید در برابر آن تشکیل خاک از مواد رسوبی نیازی به تخریب و تجزیه این مواد ندارد.

بگفته گلدمن و همکاران ( ۱۹۸۶ ) در شرایط برابر آب و هوایی خاک های تشکیل شده از مواد رسوبی غالباً " غنی تر و حاصلخیزتر از خاکهای تشکیل شده از سنگهای آذرین است .

فرسایش بخصوص فرسایش بارانی موجب جابجائی مقدار زیادی خاک می شود . جریان سطحی بعد از بارندگیها بخشی از مواد جابجا شده را با خود به نقاط دورتر حمل می کند . این مواد یا ترسیب شده و یا بصورت مواد معلق در آب و از حوزه خارج می شوند . در صورتیکه میزان خاک فرسایش یافته و جابجا شده بیش از خاک تشکیل شده باشد این فرآیند ، بتدریج موجب تضعیف و انحطاط اکوسیستم خواهد شد . پوشش گیاهی عاملی است که فرسایش را کنترل می کند و میزان آن ارتباط مستقیمی با نوع و تراکم پوشش گیاهی دارد .

در حالیکه فرسایش طبیعی موجب زیان جدی به توانائی اکوسیستم ها نمی شود فرسایش تشدید شده غالباً موجب تخریب و انحطاط اکوسیستم ها می گردد . از این رولازمست که برای تداوم باروری و توانائی طبیعی اکوسیستم ها ، فرسایش تشدید شده کنترل شود .

در هر حال فرسایش چه طبیعی و چه تشدید شده موجب تشکیل مواد اولیه ای می شود که در طول زمان از آنها خاک بوجود می آید و در نهایت ممکنست به پیدایش و تکوین اکوسیستم های جدیدی منجر شود . بسیاری از دشت های ساحلی کشور ما منجمله خوزستان و سواحل دریای خزر از رسوباتی بوجود آمده اند که از سیلابها و آبهای جاری به آنجا آورده شده اند و این رسوبات بعداً " منشاء تشکیل خاکهایی شده اند که در اثر عوامل محیطی تغییر و تکامل یافته و انواع مختلفی از خاکها را بوجود آورده اند .

## ۵- " روشهای برآورد میزان فرسایش و رسوب "

در برنامه ریزی ، عدم وجود آمار در مورد میزان فرسایش و رسوبدهی حوزه های آبخیز مخصوصاً حوزه های کوچک ، چه از نظر تخریب منابع و چه از نظر حفاظت سازه ها در مقابل رسوب مشکل اساسی بشمار می رود . یکی از راههای موجود برآورد فرسایش و میزان رسوب در حوزه های فاقد آمار ، استفاده از روشهای تجربی است که منجمله می توان از روشهای زیر نام برد :

این روش که برای طبقه‌بندی کیفی فرسایش مناسب است، حدود ۴۰ سال پیش در یوگسلاوی (سابق) بکار رفته است.

$$Z = Y \cdot X_a \left( \phi + \frac{1}{I} \right)$$

که در آن:

$Z$  = ضریب شدت فرسایش

$Y$  = ضریب مقاومت خاک به فرسایش

$X_a$  = ضریب متوسط ثابت متناسب با انواع کاربری اراضی

$\phi$  = ضریب فرسایش

$I$  = شیب متوسط حوزه

روش محاسبه هر یک از عوامل فرمول فوق بر شرح زیر می باشد:

الف -  $Z$

ضریب شدت فرسایش پذیری به پنج کلاس زیر تقسیم شده است:

$Z < 0.19$  فرسایش خیلی کم

$0.2 < Z < 0.4$  فرسایش کم

$0.7 < Z < 0.41$  متوسط

$1 < Z < 0.71$  زیاد

$Z > 1$  شدید

ب -  $Y$

برای پیدا کردن ضریب مقاومت خاک به فرسایش از جدول زیر استفاده می شود.

جدول شماره ۴- مقدار متوسط ۷ در انواع سنگ و خاک

مقدار متوسط ۷	نوع سنگ و خاک
۲	ماسه ، شیست
۱/۶	لس ، توف ، خاک شور ، خاک استپی
۱/۲	سنگ آهک هوادیده و مارن
۱/۱	ماسه سنگ و رسوبات فلیشی
۱	پدزول ، شیست خردشده و شیست
۰/۹	سنگ آهک لخت ، خاکهای هوموسی
۰/۸	خاکهای جنگلی
۰/۶	خاکهای باتلاقی
۰/۵	رسوبات آبرفتی
۰/۲۵	سنگهای آذرین سخت

ج -  $X_{\alpha}$

برای پیدا کردن  $X_{\alpha}$  از جدول زیر استفاده می شود .

جدول شماره ۵- مقدار متوسط  $X_{\alpha}$  در کاربری اراضی

مقدار متوسط $X_{\alpha}$	کاربری
۱	اراضی بدلند و غیر قابل استفاده
۰/۹	اراضی تپه ماهوری شخم خورده
۰/۷	باغ و تاکستان
۰/۶۳	کشتزارهای روی خطوط تراز
۰/۶۰	جنگلهای مخروطی و بوته زارهای مستقر در خاکهای فرسوده
۰/۶۰	مراعات کوهستانهای خشک
۰/۴	چمن زار و زراعتهای دیم
۰/۳	مراعات خوب
۰/۲	جنگلهای انبوه روی شیبهای تند
۰/۰۵	جنگلهای انبوه روی شیبهای کم

د -  $\Phi$

$\Phi$  ضریب فرسایش که از جدول زیر بدست می آید .

جدول شماره ۶- مقدار متوسط  $\Phi$  در انواع فرسایش

مقدار متوسط $\Phi$	نوع فرسایش
۱	فرسایشهای خندقی متراکم
۰/۹	حدود ۸۰ درصد منطقه دارای فرسایش شیاری و خندقی است
۰/۸	حدود ۵۰ درصد منطقه دارای فرسایش شیاری و خندقی است
۰/۷	فرسایش سطحی همراه با فرسایش شیاری و خندقی و کارستی
۰/۶	فقط فرسایش سطحی
۰/۵	۵۰٪ منطقه دارای فرسایش سطحی
۰/۳	۲۰٪ منطقه دارای فرسایش سطحی
۰/۲	فاقد فرسایش سطحی قابل ملاحظه و تنها در کنار رودخانه‌ها دارای فرسایش کناری
۰/۱۵	سطح زمین پوشیده از زراعت
۰/۱	سطح زمین پوشیده از جنگل و مرتع انبوه

I = شیب متوسط حوزه است .

## ۵-۲ روش فورنیه<sup>۱</sup>:

در این روش میزان شدت فرسایش از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\text{Log}Q_s = ۲/۶۵ \text{ Log}\left(\frac{p^2}{P}\right) + ۰/۴۶ \text{ Log}H (tgs) - ۱/۵۶$$

که در آن:

$p$  = حداکثر بارندگی ماهانه به میلیمتر

$P$  = بارندگی سالانه به میلیمتر

$H$  = ارتفاع متوسط حوزه به متر

$S$  = درصد شیب متوسط حوزه

$Q_s$  = متوسط رسوب تولیدی به تن در کیلومتر مربع در سال

در این روش نسبت بین حداکثر بارندگی سالانه ماهانه به مجموع بارندگی سالانه مهمترین عامل تلقی می شود. اشکال عمده این فرمول نادیده گرفتن شرایط فیزیکی حوزه مانند لیتولوژی خاک و پوشش گیاهی است .

### ۳-۵ روش معادله جهانی فرسایش USLE<sup>۱</sup> ( روش ویشمایر )

یکی از متداولترین معادله تجربی برآورد فرسایش خاک ، معادله جهانی فرسایش است که در سال ۱۹۵۷ بوسیله ویشمایر و اسمیت ارائه شده است .

این فرمول شکل تکامل یافته فرمولیست که قبلاً در سال ۱۹۴۰ ارائه شده بود .

در فرمول جهانی فرسایش ، شدت فرسایش خاک براساس اثر مشترک دو عامل مهم محیطی و مدیریتی موثر در فرسایش خاک محاسبه می شود .

معادله جهانی فرسایش خاک بشکل زیر است :

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

که در آن :

$A$  = میزان فرسایش سالانه خاک بر حسب تن در اکر

$R$  = ضریب فرسایندهی باران ،

تجربیات بسیاری نشان داده است که مقدار  $R$  قبل از هر چیز به انرژی جنبشی باران بستگی دارد و انرژی جنبشی باران نیز خود تابعی است از قطر قطرات باران ( $D$ )، شدت بارندگی و بالاخره مقدار کل باران نازل شده .

ویشمایر برای محاسبه مقدار کمی ضریب فرسایندهی باران ( $R$ ) رابطه زیر را پیشنهاد کرده است .

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

که در آن :

$E$  = انرژی جنبشی باران بر حسب فوت تن در اکر برای هر اینچ باران

$I_{30}$  = شدت بارندگی ۳۰ دقیقه ای برای منطقه تحت مطالعه با دوره برگشت دوساله بر حسب اینچ در ساعت

برای محاسبه انرژی جنبشی باران ( $E$ ) نیز، ویشمایر فرمول زیر را پیشنهاد کرده است .

$$E = 916 + 331 \text{ Log}_{10} I$$

که در آن  $I$  شدت بارندگی بر حسب اینچ در ساعت

مورگان (۱۹۷۵) برای محاسبه مقدار کمی  $R$  رابطه زیر را پیشنهاد کرده است .

$$R = K_1 ( a . b . c ) + K_2$$

1- Universal Soil loss Equation (Wischmeier method)

که در آن :

$k_1 =$  ضریب ثابت بین ۰/۵ تا ۱/۵ و برای ایران حدود ۰/۹ فرض شده است .

$a =$  متوسط بارندگی سالانه حوزه تحت مطالعه بر حسب اینچ

$b =$  شدت بارندگی ۲۴ ساعته حوزه با دوره برگشت دوساله بر حسب اینچ

$c =$  شدت بارندگی یک ساعته حوزه با دوره برگشت دوساله بر حسب اینچ

$k_2 =$  ضریب مربوط به نوع اقلیم و آب و هوای منطقه که بین ۲۵ تا ۵۰ متغیر است و برای ایران حدود ۳۵ است .

$K =$  ضریب فرسایش پذیری خاک

میزان حساسیت خاکها به فرسایش متفاوت است.

بدلیل تغییراتی که در نوع خاک در یک منطقه و حتی در یک نقطه وجود دارد غالباً محاسبه مقدار  $K$  آسان نیست . اگر معادله جهانی فرسایش را برای  $K$  عمل کنیم و در صورتیکه مقدار کمی دیگر فاکتورها معلوم باشد می توان مقدار  $K$  را از معادله مذکور محاسبه کرد.

بطور کلی از کلیه خصوصیات خاکها ۵ عامل زیر مهمترین نقش را در تعیین میزان فرسایش پذیری آنها دارند . این عوامل عبارتند از :

- درصد سیلت باضافه ماسه خیلی نرم که در آن اندازه ذرات شن از ۰/۱ تا ۰/۰۰۲ میلیمتر است .

- درصد شن با ذرات تا قطر ۲ میلیمتر

- درصد ماده آلی

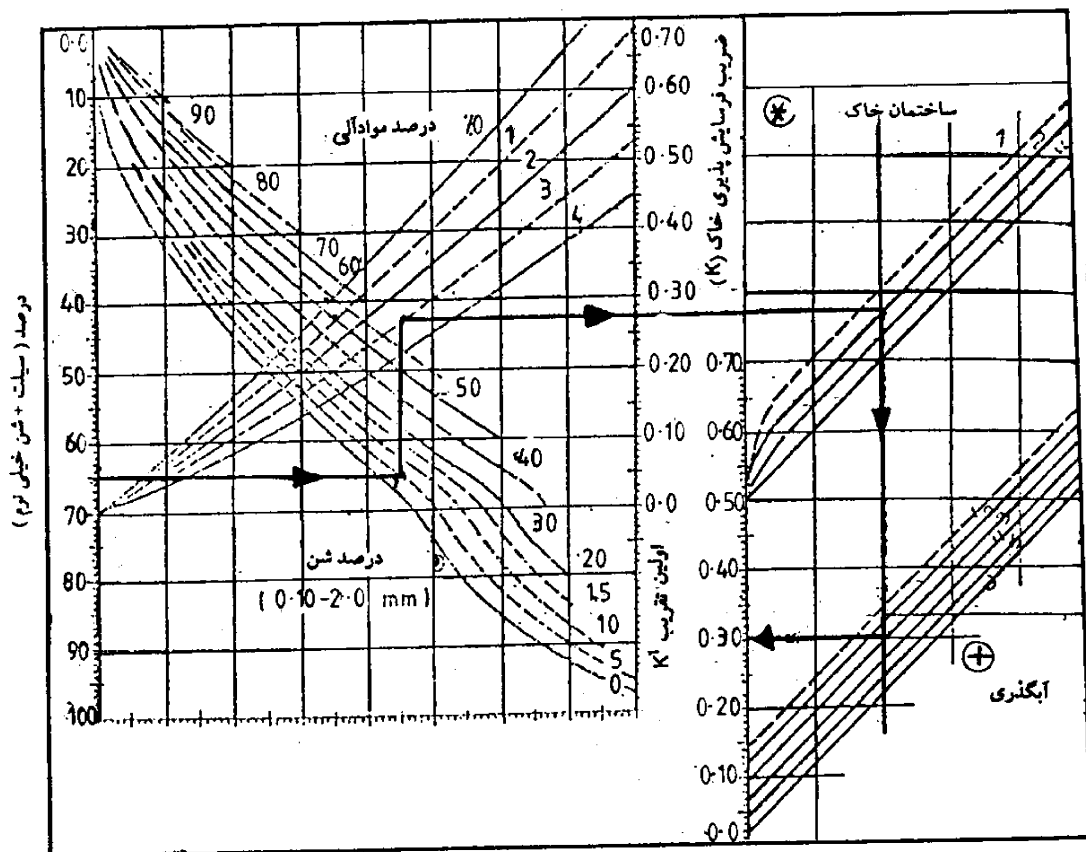
- ساختمان خاک

- ظرفیت یا قابلیت نفوذ پذیری خاک

بر اساس میزان ۵ عامل فوق برای تعیین یا برآورد مقدار کمی فاکتور  $K$  نموداری تنظیم شده است که با داشتن مقادیر آنها و استفاده از شکل شماره ۱۶ می توان مقدار کمی فاکتور  $K$  را برآورد نمود . بر اساس تجربیاتی که در خاکهای مختلف بدست آمده ، میزان عددی ضریب  $K$  برای برخی از خاکها تعیین شده است که در جدول ذیل نشان داده می شود .

جدول شماره ۷: میزان حساسیت انواع خاکها ( $K$ )

شماره	نوع خاک	$K$	شماره	نوع خاک	$k$
۱	خاک با پوشش سنگی در سطح	۰/۵	۶	اراضی مقاوم به فرسایش	۰/۱۰
۲	خاکهای ماسه ای	۰/۱۶	۷	خاکهای ماسه ای بسیار نرم	۰/۴۲
۳	خاکهای لومی - شنی	۰/۱۲	۸	خاکهای لومی بسیار نرم	۰/۴۲
۴	خاکهای سیلت - لومی	۰/۴۸	۹	خاکهای لومی رسی	۰/۳۷
۵	خاکهای سیلت - رسی	۱/۲۵۰			



- |   |   |
|---|---|
| <p>+ ضریب آبگذری (مجموع لایه ها)</p> <p>۱- خیلی آهسته (کمتر از ۰/۱ سانتیمتر در ساعت)</p> <p>۲- آهسته (۰/۵ تا ۱/۱۰ سانتیمتر در ساعت)</p> <p>۳- آهسته تا ملایم (۰/۵ تا ۲ سانتیمتر در ساعت)</p> <p>۴- ملایم (۲ تا ۸ سانتیمتر در ساعت)</p> <p>۵- ملایم تا سریع (۸ تا ۱۲ سانتیمتر در ساعت)</p> <p>۶- سریع (بیش از ۱۲ سانتیمتر در ساعت)</p> | <p>* ساختمان لایه های خاک</p> <p>۱- دانه های خیلی نرم</p> <p>۲- دانه های نرم</p> <p>۳- دانه های متوسط یا درشت</p> <p>۴- تخته سنگ لایه لایه یا توده ای</p> |
|---|---|

شکل شماره ۱۶- نمودار محاسبه میزان حساسیت خاک به فرسایش (K)

$$L = \text{ضریب طول شیب}$$

منظور از طول شیب فاصله ایست که از آنجا جریانات سطحی آغاز و در انتهای آن شیب چنان کاهش می یابد که مواد رسوبی حمل شده در جریان سطحی ته نشست می شود.  
مقدار ضریب طول شیب L را می توان از فرمول زیر بدست آورد .

$$L = \frac{I^m}{22/12}$$

که در آن :

$$I = \text{طول واقعی شیب در زمین به فوت}$$

$m =$  ضریبی است که به درجه شیب بستگی دارد . مقدار آن برای شیبهای کمتر از ۰/۵ درصد برابر ۰/۳ و برای شیبهای بیش از ۱۰ درصد برابر ۰/۶ و در مجموع مقدار متوسط آن برابر ۰/۵ می باشد .

$$S = \text{ضریب درجه شیب}$$

منظور از درجه شیب درصد یا تندی شیب اراضی است . هر قدر درصد شیب اراضی بیشتر باشد سرعت جریان سطحی و نیروی مخرب آن بیشتر است و بالتیجه قدرت تخریب خاک و قابلیت حمل آن نیز افزایش می یابد.  
بهر حال برای سهولت محاسبه مقدار کمی دو فاکتور S و L مورگان فرمول زیر را پیشنهاد کرده است که با استفاده از آن می توان مقدار عددی حاصل ضرب دو فاکتور S و L را محاسبه کرد .

$$L.S = \left( \frac{X}{22/12} \right)^m (0.065 + 0.045 S + 0.0065 S^2)$$

که در آن :

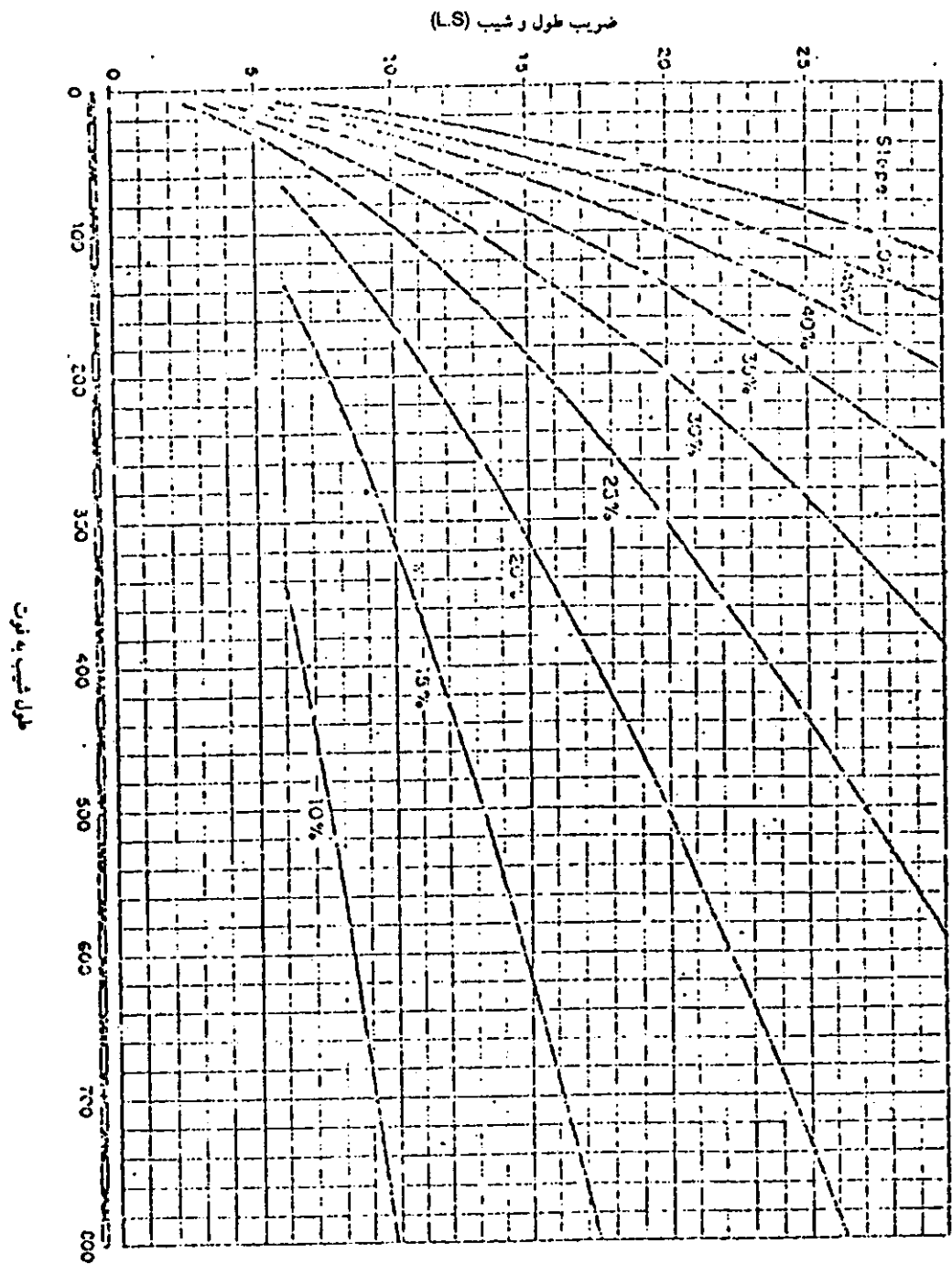
$$L.S = \text{حاصل ضرب مقدار کمی دو فاکتور L و S}$$

$$X = \text{متوسط طول شیب منطقه به فوت}$$

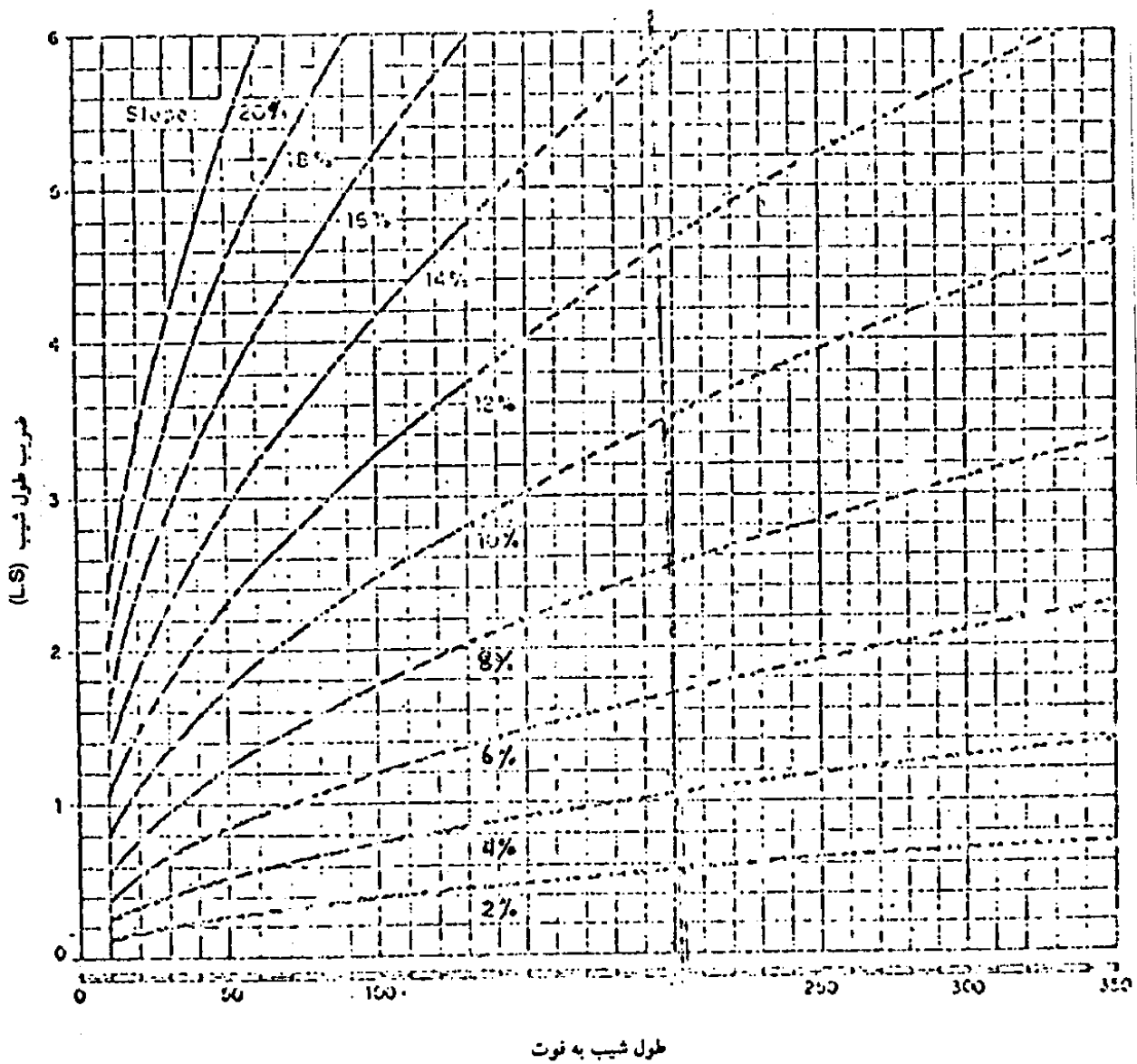
$$S = \text{درصد شیب حوزه ( شیب متوسط حوزه )}$$

ویشمایر ( ۱۹۶۵ ) برای تعیین نسبت بین خاک فرسایش یافته و دیگر عوامل فرسایش خاک در مناطق با طول شیب تا ۲۰۰۰ متر و درصد شیب ۰/۵ تا ۶۰ درصد و هم چنین اراضی با طول شیب صفر تا ۸۰۰ فوت و درصد شیب ۲ تا ۲۰ درصد دو نمودار ( شکل شماره ۱۷ و ۱۸ ) زیر را پیشنهاد کرده است که با در دست داشتن این شیبها می توان مقادیر S و L را محاسبه کرد .





شکل شماره ۱۷ - رابطه بین طول شیب (۱) با ضرب طول و شیب (L.S) (شیب های ۰/۵ تا ۶۰ درصد و طول شیب تا ۲۰۰۰ متر).



شکل شماره ۱۸ - رابطه بین طول شیب (۱) و درجه شیب (L.S) با فرسایش های ( شیب های ۲ تا ۲۰ درصد و طول تا شیب ۸۰۰ فوت ).

C = ضریب مدیریت کشت

این فاکتور مربوط به نوع کشت و نوع پوشش گیاهی است که بطور غیرمستقیم به عامل مدیریت و نقش انسان ارتباط دارد و محاسبه یا برآورد مقدار کمی آن بسیار دشوار است. مورگان براساس تجربیات مختلف، مقدار C را برای پوشش‌های گوناگون بشرح زیر تعیین کرده است:

جدول شماره ۸- مقدار متوسط C برحسب انواع پوشش گیاهی

C	وضعیت پوشش گیاهی	ردیف	C	وضعیت پوشش گیاهی	ردیف
۰/۲۵	فقیر	۵	۰/۰۴	خیلی خوب	۱
۰/۳۳	بسیار فقیر	۶	۰/۰۹	خوب	۲
۰/۴۵	لخت ( فاقد پوشش گیاهی)	۷	۰/۱۵	نسبتاً خوب	۳
			۰/۲۰	نسبتاً فقیر	۴

P - ضریب کنترل فرسایش

مدیریت نقش انسان در نحوه بهره‌برداری از اراضی زراعی و غیرزراعی است. اثر روش یا نحوه بهره‌برداری و مدیریت اراضی نقش بسیار مهمی در تشدید یا کنترل فرسایش دارد و میزان آن به عوامل بسیاری بستگی دارد که از آن جمله باید از آب و هوا و توپوگرافی و نوع خاک نام برد. بعنوان مثال اثر یک نوع معین از مدیریت و بهره‌برداری از زمین ممکنست در تشدید فرسایش خاک در اراضی با توپوگرافی نامناسب بسیار شدیدتر از مناطق مسطح باشد. همچنین اثر مدیریت یکسان در مناطق خشک و مرطوب، کم‌پوشش و پوشیده از گیاه نتایج کاملاً متفاوتی خواهد داشت. بهر حال تجربیات بدست آمده نشان داده است که مقدار P بین ۱۰/۱ در بهترین نحوه مدیریت تا ۰/۹ در بدترین نحوه مدیریت متغیر می‌باشد. در جدول زیر مقدار P برای شرایط و حالات مختلف کشت نشان داده شده است.

جدول شماره ۹- مقادیر متوسط P برای شرایط و حالات مختلف کشت

درصد شیب	کشت روی خطوط تراز	کشت نواری	کشت روی تراس
۷ - ۱/۲	۰/۵ - ۰/۶	۰/۲۵ - ۰/۳۵	۰/۱
۱۸ - ۷/۱	۰/۶ - ۰/۸	۰/۳۵ - ۰/۴	۰/۱۲ - ۰/۱۶
> ۱۸	۰/۹	۰/۴۵	> ۰/۱۶

در اراضی غیرکشاورزی مقدار P ارتباط مستقیمی با درصد شیب دارد. در جدول زیر مقدار P برای شیبهای مختلف در اراضی غیرکشاورزی نشان داده شده است:

جدول شماره ۱۰- مقادیر متوسط p بر حسب شیب های مختلف

درصد شیب	P
۱-۲	۰/۴
۲-۷	۰/۵
۷-۱۲	۰/۶
۱۲-۱۸	۰/۸
۱۸-۲۴	۰/۹

۴-۵ روش داگلاس<sup>۱</sup>

$$\text{Log } E = -۸/۴۱ + ۲/۷۰۴ \text{ Log } \left(\frac{p^2}{p}\right) + ۵/۶ Rb_n + ۲/۹۹۷ \text{ Log } D_n$$

که در آن:

E = مقدار رسوب به تن در کیلو متر مربع در سال

p = حداکثر بارندگی ماهانه به میلیمتر

P = بارندگی سالانه به میلیمتر

Rb<sub>n</sub> = ضریب دوشاخه ای شدن<sup>۲</sup>

D<sub>n</sub> = تراکم آبراهه ها به کیلومتر بر کیلومتر مربع

1 -Douglas method

2 - Bifurcation Ratio

## ۵-۵ روش کرک‌بای<sup>۱</sup>

که در آن:

$$Q_s = 0.017 (QW)^2 t_{g\theta}$$

$Q_s$  = میزان رسوب بر حسب کیلوگرم در هکتار

$Q_w$  = رواناب سالانه در سطح حوزه بر حسب ارتفاع به متر

$t_{g\theta}$  = متوسط شیب حوزه

## ۵-۶ روش PSIAC<sup>۲</sup>

یکی از روشهای تجربی متداول برای برآورد فرسایش و رسوب روش PSIAC است. این روش برای اولین بار در سال ۱۹۶۸ بوسیله گروه کاری رسوب از کمیته مشترک رسوب ایالات جنوب غربی آمریکا واقع در سواحل اقیانوس آرام، برای برآورد میزان رسوب حوزه‌های آبخیز واقع در همان ایالات به کمیته مزبور پیشنهاد و سرعت مورد قبول و کاربرد قرار گرفته است.

این روش ابتدا برای برآورد میزان رسوب حوزه‌های کوچک (بین ۰/۱ تا ۵۰ مایل<sup>۳</sup> مربع) پیشنهاد و سپس بتدریج برای حوزه‌های بزرگتر هم بکار گرفته شده است. امروزه با تغییراتی که در معادله اولیه این روش داده شده است و همچنین تحقیقات گسترده‌ایکه بر روی نقش و اثر هر یک از عوامل موثر در فرسایش دخالت داده شده در این فرمول انجام گرفته است، این امکان را فراهم نموده است که آنرا برای طیف گسترده‌ای از اراضی از نظر آب و هوا، توپوگرافی، پوشش گیاهی و بخصوص سطوح مختلف اراضی بکار برد.

در این روش اثر ۹ عامل مهم فرسایش خاک و تولید رسوب، در برآورد میزان رسوب تولیدی از یک حوزه دخالت داده شده است. برای هر یک از این ۹ عامل براساس اثر و اهمیت آن در شدت فرسایش و تولید رسوب مقادیر یا امتیازات کمی (عددی) در نظر گرفته شده است که مقدار جمع جبری این ۹ عامل، میزان تقریبی فرسایش خاک در یک حوزه را بدست می‌دهد. میزان دقت این روش به میزان اطلاعاتیکه از هر یک از این عوامل در دست باشد بستگی دارد. بعلاوه تجربیات بسیاری نشان داده است که صحت و دقت برآوردهای انجام شده به سطح منطقه یا حوزه تحت مطالعه و تفکیک واحدها یا زیر حوزه‌ها از یکدیگر بستگی دارد. بدین معنی که هر قدر سطح منطقه زیر مطالعه کوچکتر باشد دقت این روش بیشتر است همچنین بهتر است که در یک منطقه یا حوزه و مرکب از چند واحد اراضی یا زیر حوزه این روش برای هر یک از واحدها و زیر حوزه‌ها بطور جداگانه بکار برده شود، لذا برای افزایش دقت کار

1- Kirkbay method

2-(Pacific Southwest Inter-Agency Committe) method

3- 1 mil<sup>2</sup> = 2.59 Km<sup>2</sup>

و پرهیز از اشتباهات ناشی از سطوح بزرگ و ترکیب زیر حوزه‌ها با یکدیگر لازمست که ابتدا منطقه یا حوزه تحت مطالعه به واحدهای کوچک مستقل از یکدیگر تقسیم و سپس برای هر یک از این واحدها این روش بطور جداگانه بکار گرفته شود.

۵-۶-۱: نه عامل فرسایش خاک دخالت داده شده در روش PSIAC به قرار زیر است:

۵-۶-۱-۱: زمین‌شناسی<sup>۱</sup>

۵-۶-۱-۲: خاک<sup>۲</sup>

۵-۶-۱-۳: وضعیت پستی و بلندی<sup>۳</sup>

۵-۶-۱-۴: پوشش سطحی خاک<sup>۴</sup>

۵-۶-۱-۵: آب و هوا<sup>۵</sup>

۵-۶-۱-۶: جریانات سطحی یا رواناب<sup>۶</sup>

۵-۶-۱-۷: نحوه استفاده از زمین<sup>۷</sup>

۵-۶-۱-۸: فرسایش اراضی مرتفع<sup>۸</sup>

۵-۶-۱-۹: فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب<sup>۹</sup>

همانطور که گفته شد براساس نقش واهمیت هر یک از این عوامل، مقادیر کمی برای آنها در نظر گرفته شده است که جمع آنها مقدار نسبی شدت فرسایش یا میزان رسوب تولیدی از یک حوزه را نشان می‌دهد و آنرا می‌توان بصورت زیر نشان داد:

$$E = G_o, S, T, G_c, C_L, S_R, L_U, U_E, C_E$$

که در آن :

$E$  = مقدار رسوب یک حوزه یا منطقه تحت مطالعه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال  $G_o, S, T, C_E, \dots$  بترتیب عوامل ۹ گانه موثر در فرسایش و تولید رسوب براساس تجربیات انجام شده، مقدار عددی  $E$  یعنی جمع جبری مقادیر عوامل نه گانه معادل با مقدار معینی از فرسایش و رسوب است که برای سهولت کار، حوزه‌ها را از این جهت به پنج کلاس رسوبدهی بشرح زیر تقسیم کرده‌اند.

1-(Geology+Geomorphology)

2-Soil

3- Topography

4- Ground Cover

5- Climate

6-Surface Runoff

7-Land use

8- Upland Erosion

9- Channel Erosion Sediment Transportation

جدول شماره ۱۱- کلاس رسوب دهی حوزه ها

کلاس رسوبدهی	مجموع مقادیر کمی ۹ عامل فرسایش ورسوب	میزان تقریبی رسوب تولیدی تن /کیلومتر مربع /سال	طبقه‌بندی نسبی شدت رسوبدهی
۱	$E > 100$	$> 2500$ رسوب	بسیار شدید
۲	۷۵-۱۰۰	۱۵۰۰-۲۵۰۰	شدید
۳	۵۰-۷۵	۵۰۰-۱۵۰۰	متوسط
۴	۲۵-۵۰	۲۰۰-۵۰۰	کم
۵	۰-۲۵	$> 200$ رسوب	طبیعی

همچنانکه می‌دانیم شدت، اثر عوامل نه‌گانه یکسان نیست. برخی اثر کمتر و برخی نقش تعیین‌کننده در شدت فرسایش خاک و تولید رسوب دارند. بعلاوه در تشدید یا تضعیف اثر برخی عوامل فوق انسان نیز دخالت دارد بعنوان مثال آب و هوا و زمین‌شناسی عواملی هستند که انسان نمی‌تواند اثر آنها را تعدیل یا تشدید کند، در حالیکه اثر پوشش زمین، نحوه استفاده از زمین و خاک مستقیماً به فعالیت و عملکرد انسان بستگی دارد و می‌توان با روش یا شکل بهره‌برداری از زمین اثر این عوامل را تعدیل کرد. بالاخره اثر بقیه عوامل و منجمله جریانهای سطحی، توپوگرافی، فرسایش اراضی مرتفع و فرسایش رودخانه بطور غیرمستقیم و از طریق تغییر برخی عوامل محیطی قابل تعدیل و کنترل است. بعنوان مثال با تسطیح اراضی و تراس‌بندی می‌توان اثر شیب در سطح (توپوگرافی) را بمیزان زیادی کاهش داد و برعکس با کشت و کار و شخم در اراضی شیبدار و در جهت شیب اثر شیب زمین در فرسایش خاک را بمیزان زیادی تشدید کرد.

بهر حال باتوجه به اثرات گوناگون مستقل و یا وابسته به هم موجب تشدید یا کاهش فرسایش و تولید رسوب می‌گردد. برای برآورد میزان رسوبدهی منطقه تحت مطالعه ابتدا عوامل ۹ گانه بررسی و بهر یک از آنها بسته به وضعیت و شدت و ضعف اثری که در فرسایش خاک دارند، امتیازی داده می‌شود و همانطور که گفته شد جمع جبری مقادیر این ۹ عامل کلاس فرسایشی و رسوبدهی منطقه را معلوم می‌کند.

ذیلاً مقادیر کمی اختصاص داده شده به هر یک از عوامل ۹ گانه فوق نشان داده می‌شود.

جدول شماره ۱۲-

شماره ترتیب	عوامل موثر در فرسایش خاک	امتیازات در نظر گرفته شده (بدون بعد)
۱	زمین شناسی و زمین شناسی سطحی	۰-۱۰
۲	خاک	۰-۱۰
۳	آب و هوا	۰-۱۰
۴	جریانات سطحی - رواناب	۰-۱۰
۵	عوارض توپوگرافی	۰-۲۰
۶	پوشش زمین	-۱۰+۱۰
۷	نحوه استفاده اراضی	-۱۰+۱۰
۸	فرسایش اراضی مرتفع و بلند	۰-۲۵
۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	۰-۲۵

از آنجائیکه میزان امتیاز هریک از عوامل ۹ گانه فوق به وضعیت منطقه و شدت و ضعف آن عامل در افزایش یا کاهش رسوب ارتباط دارد ، بنابراین مقدار و میزان امتیاز هریک از این عوامل به موقعیت آن عامل بستگی دارد. در جدول ذیل مقادیر هریک از عوامل ۹ گانه در شرایط گوناگون نشان داده شده است .



جدول شماره ۱۳- امتیاز هریک از عوامل نه گانه در شرایط گوناگون

(۰) میزان رسوبات کم	(۵) میزان رسوبات متوسط	(۱۰) میزان رسوبات زیاد	
الف - تشکیلات سخت و فشرده ب - دولومیتها ج - لایه های بزرگ آبرفتی	الف - سنگهای با سختی متوسط، سنگهای دگرگونی ب - سنگهای خردشده یا هوادیده متوسط ج - سنگهای باشکستگی متوسط د- گرانیتها (آذرین) ه- سنگهای آهکی نرم و- کنگلومرا ز- سنگ آهک با لایه های ضخیم	الف - (شیل دریائی) ب - گچ و مارنهای ایندریت دار ( خردشده - تکه تکه ) ج - لایه سنگهای سخت و شیل د- ماسه سنگها	زمین شناسی سطحی
(۰) رسوب کم	(۵) رسوب متوسط	(۱۰) رسوب زیاد	
الف - دارای درصد زیادی از تخته سنگ ب - رسهای با ساختمان محکم ج - بالابودن مقدار مواد آلی خاک	الف - بافت متوسط ب - دارای قطعات تخته سنگی بطور پراکنده ج - لایه های آهکی د - بافت قلوه سنگی (بین ۲۰ تا ۵۰ درصد حجم)	الف - بافت نرم با پراکندگی زیاد، شور قلیائی، دارای قابلیت انبساط و انقباض زیاد ب - سیلت دانه ای و شن نرم ج - شنی د - بافت شنی - لومی از جنس گرانیت	خاکها
(۰) رسوب کم	(۵) رسوب متوسط	(۱۰) رسوب زیاد	
الف - آب و هوای مرطوب با بارندگی با شدت کم ب - اکثر بارندگی بشکل برف ج - یخ بستن و ذوب شدن د - آب و هوای خشک با وجود بارندگی مداوم ولی بسیار کم	الف - وجود بارندگی با مدت و شدت متوسط ب - رگبارهای متناوب	الف - بارانهای چندروزه همراه با دوره های کوتاهی از رگبار تند ب - وجود رگبارهای شدید بطور متناوب ج - آب و هوای خشک با شدت باران کم د - وجود جریانهای حاصل از ذوب برف	آب و هوا

ادامه جدول شماره ۱۳

(۰) میزان رسوبات کم	(۵) میزان رسوبات متوسط	(۱۰) میزان رسوبات زیاد	
الف - پائین بودن دبی حداکثر در واحد سطح ب - حجم کم جریان آب در واحد سطح ج - جریانهای سطحی نادر د - خاکهای هیدرولوژیکی گروه A	الف - دبی حداکثر متوسط ب - حجم متوسط جریان آب در واحد سطح ج - خاکهای هیدرولوژیکی گروه B	الف - بالا بودن دبی حداکثر در واحد سطح ب - حجم زیاد جریان آب در واحد سطح ج - خاکهای هیدرولوژیکی گروه D د - خاکهای هیدرولوژیکی گروه C	جریانهای سطحی (روانابها)
(۰) رسوب کم	(۱۰) رسوب متوسط	(۲۰) رسوب زیاد	
الف - مناطق با شیب آرام (کمتر از ۰.۵٪) ب - دشت آبرفتی گسترده	الف - فلات با شیب متوسط (کمتر از ۲۰٪) ب - گسترش مناطق سیلگیر با واحدهای فیزیوگرافی بادبزنی شکل	الف - مناطق با شیب تند (بیش از ۳۰ درصد) ب - ارتفاع زیاد، پستی و بلندی زیاد ج - بسترهای با شیب تند د - پستی و بلندیهای سیلگیر	ناهمواری (پستی و بلندی)
(۱۰-) رسوب کم	(۰) رسوب متوسط	(۱۰) رسوب زیاد	
الف - سطح زمین کاملاً پوشیده از نباتات، بقایای گیاهی و قلوه سنگ ب - احتمال رسیدن باران به مواد فرسایش پذیر کم باشد	الف - پوشش گیاهی کمتر از ۴۰٪ ب - بقایای گیاهی قابل توجه ج - وجود درخت بطور پراکنده و نامتراکم	الف - پوشش زمین کمتر از ۲۰ درصد ب - پوشش گیاهی پراکنده و بقایای گیاهی محدود ج - عدم وجود قلوه سنگ در سطح خاک	پوشش گیاهی محدود

ادامه جدول شماره ۱۳

(۱۰) رسوب کم	(۰) رسوب متوسط	(۱۰) رسوب زیاد	
<p>الف - زمین بایر</p> <p>ب - میزان چرا محدود</p> <p>ج - بتازگی قطع اشجارنشده</p> <p>د - بدون جاده یا معبر</p>	<p>الف - کمتر از ۲۵ درصد کشت شده</p> <p>ب - کمتر از ۵۰ درصد سطح تحت چرای مفراط</p> <p>ج - کمتر از ۵۰ درصد پوشش جنگلی به تازگی قطع شده</p> <p>د - وجود جاده‌های معمولی و دیگر ابنیه</p>	<p>الف - بیش از ۵۰ درصد تحت کشت</p> <p>ب - تقریباً تمام سطح تحت چرای متراکم</p> <p>ج - بقایای گیاهی در تمام سطح بتازگی سوزانده شده است</p> <p>د - پوشش جنگلی بتازگی بریده شده</p> <p>ه - بریدگی‌های عبور جاده زیاد باشد.</p>	<p>نحوه استفاده از زمین</p>
(۰) رسوب کم	(۱۰) رسوب متوسط	(۲۵) رسوب زیاد	
<p>الف - عدم وجود علائم فرسایش</p> <p>ب - فرسایش کم</p>	<p>الف - وجود انواع مختلف فرسایش در حدود ۲۵ درصد سطح اراضی</p> <p>ب - فرسایش بادی با رسوبگذاری در کانالهای آب</p> <p>ج - فرسایش متوسط</p>	<p>الف - وجود فرسایش شیلی، گالی و توده‌ای در بیش از ۵۰ درصد سطح اراضی</p> <p>ب - بالابودن میزان فرسایش</p>	<p>فرسایش اراضی مرتفع و بلند</p>
(۰) رسوب کم	(۱۰) رسوب متوسط	(۲۵) رسوب زیاد	
<p>الف - انهار پهن و کم عمق با شیب مسطح و جریان کوتاه مدت</p> <p>ب - بستر رودخانه بر روی توده‌های عظیم صخره با قطعات بزرگ سنگ یا در سطوح با پوشش گیاهی خوب</p> <p>ج - انهار کنترل شده</p>	<p>الف - جریان با عمق و تواتر متوسط با فرسایش کناره یا بستر بطور متناوب</p>	<p>الف - فرسایش کناری رودخانه بطور دائم یا متناوب با عمق زیاد جریان طویل‌المدت</p> <p>ب - فرسایش ابتدای سرشاخه‌ها و کاهش ارتفاع آنها</p>	<p>فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب</p>

با توجه به امتیازات جدول فوق و با توجه به شرایط منطقه و وضعیت هریک عوامل ۹ گانه می توان مقدار کمی این عوامل را مشخص کرد. بعنوان مثال در مورد پوشش نباتی رقم ۱۰ برای مناطقی است که پوشش سطحی آن از ۲۰ درصد کمتر باشد و عدد صفر برای مناطقی است که پوشش سطحی آن از ۴۰ درصد بیشتر است و بالاخره عدد ۱۰- برای مناطقی است که کاملاً پوشیده از گیاهان اند.

در مورد نحوه بهره برداری از زمین نیز رقم ۱۰ برای مناطقی است که حداقل ۵۰ درصد از اراضی تحت کشت نادرست یا چرای سنگین باشند ، رقم صفر نیز برای مناطقی است که کمتر از ۲۵ درصد تحت کشت و کمتر از ۵۰ درصد آن تحت چراست و بالاخره عدد ۱۰- برای مناطقی است که اصولاً در آن کشت و کاری صورت نمی گیرد و شدت چرای دام متناسب با ظرفیت مرتع است و در واقع چرای بیش از ظرفیت انجام نمی شود.

در جدول شماره ۱۴- نمونه‌ای از کاربرد روش ذکر شده در حوزه آبخیز سد دز نشان داده شده است :

جدول شماره ۱۴-: ارزیابی میزان رسوبدهی حوزه آبخیز سد دز با استفاده از روش PSIAC :

ردیف	عامل فرسایش‌زا	شرایط غالب	درجه رسوبدهی
۱	زمین‌شناسی	شامل لایه‌های نرم و سخت، سنگ آهک، شیل، لای سنگ سیلیتی، مارن، ماسه - سنگ	۹
۲	خاک	بافت ریز تا متوسط، باخاکدانه‌های پراکنده، قابلیت انبساط زیاد، خاکدانه‌های خوب خاکهای قهوه‌ای جنگلی	۸
۳	آب و هوا	بارندگی چندین روزه با رگبارهای شدید اتفاقی، برف	۸
۴	رواناب	جریان زیاد آب بازاء واحد سطح -گروه هیدرولوژیکی خاک C	۹
۵	پستی و بلندی	شیب متوسط فاقد دشت سیلابی	۱۹
۶	پوشش نباتی	۵۰ درصد منطقه حداقل در فصولی از سال عاری از پوشش نباتی	۱۰
۷	بهره‌برداری از اراضی	۴۰ درصد منطقه، بشدت تحت چرا قرار داشته و ۲۰-۳۰ درصد دیگر تحت کشت	۱۰
۸	فرسایش اراضی فوقانی	۴۰ درصد از منطقه دارای فرسایش لغزشی، سطحی، شیاری و خندقی	۲۰
۹	فرسایش رودخانه‌ای	شیب بستر تند، اغلب کناره‌ها و شیبها شستشو یافته و عمق جریان آب و مدت آن زیاد است.	۲۵
		جمع	۱۱۸

بر اساس طبقه‌بندی جدول شماره یازده میزان تولید رسوب بعلت بالا بودن درجه رسوبدهی بیش از ۱۰۰ در حدود بیش از ۲۵۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال است .

- بهتر است هریک از زیر حوزه‌ها و یا واحدهای هیدرولوژیکی و یا واحدهای خاکشناسی بطور مستقل و جدای از یکدیگر ارزیابی و بررسی شوند.
- بهتر است برای هریک از واحدهای تحت مطالعه ، اندازه‌گیری‌هایی از مقدار فرسایش و رسوب واقع شده انجام گیرد و آنگاه نتایج حاصل از روش PSIAC با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها جرح و تعدیل شوند .
- بهتر است میزان اثر هریک از عوامل ۹ گانه در فرسایش و تولید رسوب ، بطور گرافیکی رسم و امتیازات با توجه به شکل گرافیکی این عوامل به هریک از آنها داده شود.
- از میان ۹ عامل موثر در فرسایش دخالت داده شده در روش PSIAC ، تنها عامل توپوگرافی تا حدودی مستقل از عوامل دیگر عمل می‌کند، بقیه هریک به یک یا چند عامل دیگر بستگی دارند و اثر هریک از آنها به شدت و ضعف وجود و اثر عامل یا عوامل دیگر ارتباط پیدا می‌کند . بعنوان مثال خاک و زمین‌شناسی بهم وابسته‌اند . در واقع خاکها از تغییر و تبدیل فرم‌اسیونهای زمین‌شناسی بوجود می‌آیند. اثر جریان‌ات سطحی یا رواناب با وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی تشدید یا تعدیل می‌شود. بهمین ترتیب جریان سطحی ناشی از نزولات جوی است که خود یک عامل آب و هوایی به حساب می‌آید. با توجه به توضیحات فوق برای تعیین مقدار عددی هر یک از یا از عوامل ۹ گانه لازم است که میزان و اثر عوامل دیگر نیز همزمان در نظر گرفته شود.

## ۶- وضعیت فرسایش و پراکنش جغرافیائی آن در ایران

عوامل مختلفی در فرسایش خاک دخالت دارند که مهمترین آن عوامل اقلیمی است. وجود کمربندهای کم فشار در استوا و عرض جغرافیائی حدود ۶۰ درجه در هر دو نیمکره و کمربندهای پرفشار در عرضهای جغرافیائی حدود ۳۰ درجه و قطبین زمین موجب می شود دو وضعیت از نظر بارش پدید آید که شامل مناطق پرباران در استوا و عرض جغرافیائی ۶۰ درجه و مناطق کم باران در عرضهای ۳۰ درجه و قطبین زمین است. کاهش دما از استوا به طرف قطبین نیز موجب می شود که چهار اقلیم مشخص آب و هوائی گرم و مرطوب از صفر تا ۱۰+ درجه، گرم خشک از ۱۵+ تا ۴۵+ درجه، معتدل مرطوب از ۴۵+، ۷۰+ درجه، سرد خشک از ۷۰+ تا ۹۰+ درجه پدید آید. در اقلیم گرم و مرطوب، وجود شرایط مناسب برای رشد گیاه باعث می شود تا هنگامیکه تخریب شدیدی در محیط ایجاد نشده است خاکها بخوبی حفظ شوند. ولی چنانچه در این مناطق بهر دلیلی پوشش گیاهی از بین برود بدلیل بارندگی زیاد فرسایش بسرعت در آنها صورت می گیرد. در عرضهای جغرافیائی حدود ۳۰ درجه گرم و خشک، بدلیل بارندگی کم و تبخیر شدید ناشی از دمای زیاد پوشش گیاهی فقیر بوده و خاک در معرض فرسایش شدید آبی و بادی قرار دارد.

در عرضهای جغرافیائی ۶۰ درجه با آب و هوای معتدل مرطوب، وجود بارندگی به مقدار کافی و محدودیت تبخیر موجب توسعه پوشش گیاهی شده و فرسایش کاهش می یابد در قطبین زمین سرد خشک نیز گرچه میزان بارندگی محدود است ولی بدلیل پائین بودن دما و بالتیجه کمی تبخیر و تعریق و وجود پوشش گیاهی بوته ای و در متراکم نظیر مناطق تند را فرسایش کم می باشد.

بنابراین می توان گفت بیشترین میزان فرسایش و تخریب خاک در اقلیم خشک و نیمه خشک گرم که کشور ما نیز دارای چنین اقلیمی می باشد می افتد.

علیرغم محدودیت بارندگی در بیشتر نقاط کشور معهذاً، همین مقدار بارندگی محدود به دلیل شدت زیاد موجب تخریب شدید خاک و فرسایش بیش از اندازه می شود.

در بسیاری از مناطق کشور با بارندگی بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتر، در پاره ای موارد شدت رگبارها بحدی است که موجب ریزش نزدیک یکصد میلیمتر در ۲۴ ساعت می گردد و همین رگبارهاست که بیشترین تخریب را به بار می آورد و سبب متلاشی شدن خاکدانه ها و حمل آن به نقاط دیگر می شود. همچنین عدم یکنواختی ریزشهای جوی در طی زمان باعث می گردد که جریانهای سطحی ناشی از آنها به صورت سیلابهای بزرگ و کوچک از رودخانه عبور کرده و باعث تشدید فرسایشهای کناری می شود.

در حوزه های مرتفع کشور به دلیل بالابودن نسبت برف به کل بارندگی سالانه میزان فرسایش کم می باشد.

از آنجاکه قسمت اعظم سطح کشور در دورانه های دوم و سوم زمین شناسی زیر آب بوده است لذا رسوبگذاری آهکی و ماری و شیلی فراوان در آن دیده می شود که این رسوبات مخصوصاً در دوران سوم زمین شناسی همراه با مواد انحلالی

و بخصوص گچ و نمک بوده و حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش دارند. تشکیلات دوران سوم که به طور عمده شامل مارنهای گچی و نمکی هستند، در مناطق وسیعی از کشور به خصوص مناطق مرکزی واقع شده‌اند هر چند که به طور پراکنده در سایر نقاط مانند حوزه دریاچه ارومیه، حوزه سفیدرود، حوزه دز و زاینده‌رود دیده می‌شوند سهم زیادی در تولید رسوب دارند، بطوریکه بیش از ۵۰ درصد از رسوبات وارده به مخزن سد سفیدرود از سطحی کمتر از ۵ درصد حوزه ناشی می‌گردد.

مناطق آهکی نیز دارای فرسایش انحلالی بوده و تشکیلات کارستیک را بوجود می‌آورند و هنگامیکه با لایه‌های مارنی همراه باشند فرسایش نسبتاً شدیدی ایجاد می‌کنند. این تشکیلات قسمت اعظم زاگرس را تشکیل داده و در البرز و سایر کوهستانهای مرکزی نیز بطور پراکنده دیده می‌شوند.

بطوریکه قبلاً اشاره شده است عامل توپوگرافی نیز که پتانسیل رواناب را برای ایجاد فرسایش افزایش می‌دهد، از اهمیت خاصی برخوردار است. وجود مواد آتشفشانی در قسمت‌های زیادی از البرز و چین خوردگی‌های شدید در زاگرس ناشی از حرکت قاره‌ها، پستی و بلندی زیادی بوجود آورده و شیب اراضی را بشدت افزایش داده‌اند. این امر علاوه بر افزایش سرعت رواناب و ایجاد فرسایش، باعث ایجاد لغزش و سایر حرکات توده‌ای می‌گردد.

یکی دیگر از مهمترین عاملی که می‌تواند باعث کنترل فرسایش گردد پوشش گیاهی است. وجود جنگلهای حاشیه خزر در شمال کشور که سطحی کمتر از ۲ میلیون هکتار داشته و علیرغم شدت بارش و شیب تند و حتی در مناطق با لیتولوژی نامناسب و حساس به خوبی خاک را حفظ می‌نمایند ولی در مناطق شمال غربی و غرب کشور وجود جنگلهای بلوط، در شمال شرقی جنگلهای پسته و در سایر مناطق جنگلهای ارس هر چند تا اندازه‌ای در کاهش فرسایش موثرند ولی به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی کافی در سطح زمین، نمی‌توانند به خوبی فرسایش را کنترل نمایند. مراتع خوب نیز که قادر به حفظ خاک، باشند بسیار محدود بوده و اغلب مراتع سیر قهقرائی خود را طی می‌نمایند. تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی به کشاورزی و رهاسازی آنها پس از چندسال بهره‌برداری نادرست نیز امری است که در گوشه و کنار مملکت به چشم می‌خورد. مشکلات اقتصادی در دوره‌های مختلف و افزایش بیرویه رشد جمعیت نیز باعث می‌شود که فشار زیادی به منابع طبیعی وارد شده و هر ساله تخریب بیشتری انجام شود.

با توجه به عوامل فوق مشاهده می‌شود که در ایران تمامی شرایط برای ایجاد فرسایش آبی مهیا بوده و مقدار آن به طور متوسط بیش از ۱۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال است در حالیکه در کشورهای اروپائی با بارندگی سالانه بیشتر به دلیل وجود پوشش گیاهی مناسب در سطح زمین میزان متوسط رسوب در کیلومتر کمتر از ۱۰۰ تن در سال است. در مناطق مرکزی و شرقی ایران و منجمله سیستان و بلوچستان اگر چه بارندگی سالانه محدود است ولی وجود بادهای مختلف موجب فرسایش بادی خاک می‌شود.

در نتیجه می‌توان گفت که به استثنای نوار باریکی از شیبهای شمالی البرز، در تمامی دامنه‌های جنوبی البرز و زاگرس



و دشتهای منتهی به آنها، فرسایش آبی به شدت انجام می‌شود و در مناطقی که بارندگی سالانه ای کمتر از ۲۰۰ میلیمتر دارند ، فرسایشهای بادی را موجب می‌گردد .

## ۷- رابطه فرسایش و رسوب

فرسایش تشدید شده و حتی در پاره‌ای موارد فرسایش طبیعی و حمل مواد رسوبی توسط جریانهای سطحی خطر بزرگیست که همواره تاسیسات آبی را تهدید می‌کند و به خصوص موجب پرشدن مخازن سدها و کاهش عمر مفید آنها می‌گردد.

همانطور که می‌دانیم رسوب حمل شده به وسیله رودخانه‌ها و جریانهای سطحی بعد از بارندگیها بجز در موارد فرسایش کف و دیواره رودخانه‌ها، عمدتاً حاصل فرسایش خاک روئین حوزه‌های مربوطه است و از این رو برای کاهش زیانهای اقتصادی ناشی از رسوبگذاری در مخازن سدها و دیگر تاسیسات آبی باید اقداماتی در جهت کنترل فرسایش صورت گیرد. و برای این منظور لازم است که رابطه بین فرسایش و رسوب از یک سو و رابطه بین فرسایش و عوامل موثر در آن از سوی دیگر شناخته شود و معلوم گردد که اولاً شدت فرسایش خاک در یک حوزه چه میزانست و ثانیاً چه مقدار از خاک فرسایش یافته در هر حوزه به شبکه آبراهه‌ها و رودخانه‌ها می‌رسد و در نهایت در تاسیسات آبی بنا شده بر روی رودخانه موردنظر و یا شبکه آبراهه‌های تشکیل دهنده آن ترسیب می‌شود.

بگفته برانسون و همکاران (۱۹۸۷) میزان رسوبات حمل شده به وسیله یک رودخانه، در صورتیکه فرسایش کف و بستر رودخانه (فرسایش رودخانه‌ای) را نادیده بگیریم، تابعی است از شدت فرسایش خاک حوزه مربوطه و میزان اثر نیروهای انتقال دهنده یا جابجا کننده. بطوریکه رابطه بین فرسایش و رسوب را می‌توان بصورت زیر نشان داد:

$$S=f(E,T)$$

$S$  = میزان رسوب انتقال یافته در رودخانه

$E$  = میزان خاک فرسایش یافته در حوزه مربوطه

$T$  = شدت اثر عوامل انتقال دهنده یا جابجا کننده است.

بگفته هادلی (۱۹۸۴) تولید رسوب از حوزه‌ها فرآیند پیچیده ایست که با فرسایش خاک همان حوزه رابطه علت و معلول<sup>۱</sup> را دارد. در واقع رسوب معلول یا نتیجه فرسایش است و در صورتیکه فرسایش اتفاق نیافتد رسوبی تولید نخواهد شد.

پس برای کاهش رسوب هر حوزه می‌باید فرسایش را در آن حوزه کنترل کرد. از طرفی خود فرسایش هم نتیجه عملکرد عوامل بسیار است که برای کنترل آن، باید این عوامل را کنترل شود.

آزمایشهای ویشمایر و دیگران نشان داده شده است که میزان رسوب تولیدی از یک حوزه تابع مستقیم شدت فرسایش خاک حوزه مربوطه است، بنحویکه اگر برآوری از شدت فرسایش یک حوزه در دست باشد با داشتن نسبت بین فرسایش و رسوب که خود تابعی است از میزان اثر عوامل انتقال و جابجائی، می‌توان میزان رسوب تولیدی از یک حوزه را برآورد کرد و برعکس با در دست داشتن میزان رسوب تولیدی از یک حوزه می‌توان حجم خاک فرسود یافته را محاسبه نمود.

---

1- Cause and Effect

برای محاسبه رسوبات حمل شده به وسیله یک رودخانه روشهای مختلفی وجود دارد که مهمترین آن نمونه برداری از آب رودخانه و اندازه گیری میزان رسوبات معلق و بارکف آن از یکطرف و دبی همزمان، از طرف دیگر است. آزمایشهای زیادی نشان داده است که در همه رودخانهها رابطه مستقیمی بین دبی آب و دبی رسوب وجود دارد. اما شدت این رابطه یا همبستگی خود به شدت فرسایش پذیری یا حساسیت به فرسایش حوزه مورد مطالعه از یکطرف و میزان تکامل و تراکم شبکه آبراهها و قدرت حمل و جابجائی عوامل منتقل کننده از طرف دیگر بستگی دارد.

خاک فرسایش یافته ابتدا از طریق جریانهای سطحی بعد از بارندگیها به شبکه آبراههای کوچک و از آن جا به کمک جریان آب به سرشاخهها و رودخانههای کوچک و بالاخره به رودخانه اصلی می رسد. بطورکلی رابطه بین دبی آب و دبی رسوب را می توان بصورت زیر نشان داد:

$$\text{Log}Q_s = a + b \log Q_w \quad \text{که در آن:}$$

$Q_s$  = میزان رسوب حمل شده بوسیله یک رودخانه یا یک جریان آب در یک دوره زمانی یک روزه بر حسب تن در روز

$Q_w$  = دبی آب یا مقدار آب عبور کرده از همان رودخانه در واحد زمان بر حسب مترمکعب در ثانیه  $a, b$  ضرایب ثابت این معادله هستند.

که مقدار آنها بعوامل مختلفی بستگی دارد که مهمترین آنها همان عوامل معادله ویشمایر هستند. Gifford این عوامل را سطح حوزه، نسبت جریان سطحی به کل بارندگی منطقه، وضعیت توپوگرافی، نوع و تراکم پوشش گیاهی و نحوه بهره برداری از زمین می داند.

بگفته گیفورد این عوامل هم در شدت و میزان تخریب خاک و هم در انتقال و جابجائی خاک فرسایش یافته دخالت دارند.

در مجموع، هر قدر سطح حوزه بزرگ باشد نسبت رسوبات خارج شده از حوزه به خاک فرسایش یافته کوچکتر است، بطوریکه در حوزههای بسیار بزرگ ممکنست قسمت کمی از مجموع خاک فرسایش یافته از حوزه خارج شود در حالیکه در حوزه کوچک و بخصوص شیبدار ممکنست قسمت اعظم خاک فرسایش یافته از طریق جریانهای سطحی به شبکه آبراهها و از آن طریق برودخانهها برسند.

از طرفی نقش پوشش سطحی در فرسایش خاک و انتقال و جابجائی خاک فرسایش یافته بسیار تعیین کننده است، از طرف دیگر خود پوشش گیاهی نیز ارتباط مستقیمی با نوع آب و هوای منطقه (میزان بارندگی و پراکنش آن) و نوع بهره برداری از زمین دارد.

که میزان بارندگی علاوه بر اینکه خود مستقیماً یکی از عوامل فرسایش خاک است بطور غیرمستقیم و از طریق تاثیر بر پوشش گیاهی نیز به فرسایش خاک موثر است.

## ۸- اثرات اقتصادی - اجتماعی فرسایش و رسوب

اثرات اقتصادی و اجتماعی فرسایش و رسوب را می‌توان از دو دیدگاه، اثرات در جا و یا در محل و خارج از محل مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد. بدیهی است در مرحله حمل نیز مسائل اقتصادی - اجتماعی خاصی وجود دارد که در طبقه‌بندی فوق در گروه خارج از محل مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۸-۱ اثرات اقتصادی - اجتماعی فرسایش " در محل "

اثرات اقتصادی - اجتماعی فرسایش در اراضی بالادست به دو صورت خود را نمایان می‌سازد. اول به صورت کاهش سطح اراضی تولیدی به دلیل گسترش شبکه شیارها، آبراهه‌ها و دوم تهی شدن خاک از مواد مغذی و کاهش تولیدات مرتعی و جنگلی.

#### ۸-۱-۱ کاهش سطح اراضی تولیدی

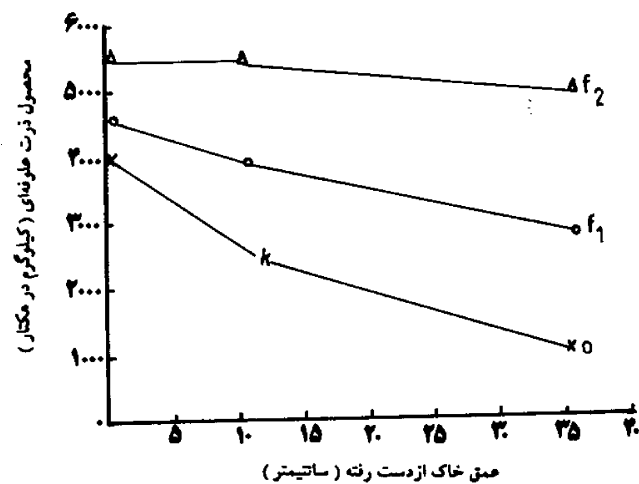
بررسیهای مقدماتی انجام شده در ایران نشان می‌دهد که هر ساله هزاران هکتار از اراضی، مرتعی کشاورزی بر اثر فرسایش قدرت حاصل خیزی خود را از دست می‌دهند. هرچند در اینگونه ارزیابی‌ها بخشی از خاک زیرین غیرزنده را که بر اثر فرسایش خندقی یا توده ای از دست می‌روند جزء خاک زنده به حساب می‌آورند و در نتیجه در برآورد سطح اراضی از دست رفته اغراق می‌شود معهذانی می‌توان اهمیت قضیه را نادیده گرفت. کاهش سطح اراضی تولیدی می‌تواند بطور مستمر باعث روند نزولی تولید در کشور شود و با توجه به عدم اشتغال افراد در عرصه‌های از دست‌رفته کاهش سطح اشتغال جمعیت روستائی و عشایری را نیز بدنبال دارد.

#### ۸-۱-۲ کاهش مواد مغذی خاک

کاهش یا تهی شدن مواد مغذی خاک که در اثر فرسایش سطحی و بعضاً شیاری تحقق می‌یابد زیان اقتصادی دیگریست که به اراضی بالادست وارد می‌شود. اینگونه اراضی عموماً توسط زارعین و عشایری که با اقتصاد معیشتی بیشترین و بلکه تمام احتیاجاتشان - اعم از غذا، پوشاک، سوخت و مسکن - را تامین می‌کنند مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفته و می‌گیرد. در گذشته بهنگام کاهش توان تولیدی این اراضی اعم از مرتعی و یا زراعی لطمات وارده به خاک از طریق کشاورزی " نوبتی " ( بهره‌برداری - آیش طولانی ) و یا کوچ و چرا جبران می‌گردیده است، لیکن افزایش جمعیت و کاهش سطح اراضی بدلیل ساخت و ساز و تخصیص اراضی بیشتری به فضاهای شهری و خدماتی و عدم استفاده بهینه از منابع سبب گردیده است که بهره‌برداری مفرط و مکرر از اراضی تقریباً اجتناب ناپذیر شود. نابودی جنگلها و مراتع بدلیل استحصال چوب سوخت و بوته‌کنی و یا چرای اضافی و همینطور کاهش حاصلخیزی خاک

نتیجه چنین شرایطی است. ادامه این وضعیت خود موجب تشدید فرسایش و تکرار پدیده فرسایش و رسوب با ابعاد بیشتر و وسیعتر می شود.

بنت<sup>۱</sup> در اواخر ۱۹۳۰ برآورد نموده بود که سالانه ۵۰ میلیون تن مواد غذایی مورد نیاز گیاهان در سطح ۱۲۰ میلیون هکتار اراضی در امریکا دچار فرسایش شدید شده و از دسترس خارج می شود. این برآورد بر مبنای محاسبه ازت بمیزان ۰/۱، فسفر ۰/۱۵ و پتاسیم به میزان ۱/۵ درصد وزن خاک فرسایش یافته بدست آمده است. نامبرده خسارت جبرانی این سه ماده را در آن هنگام حدود ۶/۸ میلیارد دلار برآورد نموده بود. در یک بررسی دیگر بر روی یک نوع خاک استوایی در هاوایی که زیرکشت ذرت علوفه‌ای بوده است نتایج زیر حاصل گردیده است.



شکل شماره ۱۹ - اثر فرسایش و کود در میزان محصول

جدول شماره ۱۵ - میزان مصرف کود در دو سطح شاهد به کیلوگرم

جمع	آهک	Mo	Zn	Mg	K	P	N	نوع تقویت کننده
۱۸۶	۰	۱	۵	۲۰	۰	۵۰	۱۱۰	F1
۴۵۳۲	۳۵۰۰	۲	۱۰	۱۰۰	۲۵۰	۴۵۰	۲۲۰	F2

بطوریکه در شکل ۱۹ مشاهده می شود، هنگامی که ده سانتیمتر خاک فرسایش یابد میزان تولید ذرت علوفه ای از ۴۰۰۰ کیلوگرم به حدود ۲۲۰۰ کیلوگرم و هنگامیکه ۳۵ سانتیمتر خاک از دست برود به حدود ۶۰۰ کیلوگرم کاهش می یابد. در صورتیکه بخواهند با استفاده از کود کاهش حاصلخیزی خاک را جبران نمایند در دو سطح کوددهی f2, f1 نتایجی به شرح زیر بدست آمده است. در صورتیکه ده سانتیمتر خاک فرسایش یابد با کاربرد کود بمیزان ۱۸۶ کیلوگرم در هکتار در سطح f1 تقریباً محصول اولیه بدست می آید. لیکن همین مقدار کود می تواند در اراضی فرسایش نیافته ۵۰۰ کیلوگرم افزایش محصول به بار آورد. با افزایش میزان کوددهی به مقدار خیلی زیاد، یعنی جمعا ۹۲۰ کیلوگرم ازت، فسفر و پتاس و ۱۱۲ کیلوگرم عناصر Mo, Zn, Mg و ۳/۵ تن آهک در اراضی که ۱۰ سانتیمتر خاک فرسایش یافته می توان حدود ۳۷/۵٪ افزایش محصول بدست آورد. لیکن در اراضی ۳۵ سانتیمتر فرسایش یافته تنها حدود ۲۸٪ افزایش بدست آمده است. بدیهی است این میزان وسیع کوددهی همواره کار بسیار دشوار و پرهزینه ای است و مسائل زیست محیطی متعددی بدنبال خواهد داشت.

در هر حال اگر با توجه به بررسیهای انجام شده نسبت میزان عناصر فرسایش یافته خاکهای ایران (ازت، فسفر، پتاس) را حدود دو درصد کل خاک فرسایش یافته (بمیزان ۱/۵ میلیاردتن در سال) بدانیم، سالانه حدود ۱۵ میلیون تن عناصر مغذی خاک از سطح ۴۰ میلیون هکتار اراضی شیب دار حوزه های آبخیز کشور شسته می شود که متوسط آن ۳۷۵ کیلوگرم در هکتار می شود. جبران این مقدار عناصر مغذی در سطح چهل میلیون هکتار اراضی زراعی، مرتعی و احیاناً جنگلی به حدود ۴۰ میلیارد ریال اعتبار برای خرید کود و هزاران نفر روز نیروی کار جهت پخش کود در زمین نیاز خواهد داشت. از آنجائی که چنین سرمایه گذاری سنگینی عملاً ممکن نیست لذا هر ساله حاصلخیزی اراضی وسیعی بمقدار زیادی کاهش می یابد و علیرغم بهبود آبیاری و یا افزایش نیروی ماشین و غیره تولیدات آنها بمیزان پیش بینی شده افزایش نمی یابد و در واقع تلاش بی ثمر تلقی می شود.

خسارت ناشی از تهی شدن خاک از مواد مغذی را می توان بصورت کاهش برداشت محصول سالانه نیز ارزیابی نمود. بدین معنی که اگر کاهش برداشت محصول در سطح چهل میلیون هکتار اراضی زراعی و مرتعی حوزه های آبخیز کشور را حدود نیم تن در هکتار برآورد نمائیم مشاهده می شود که حدود ۲۰ میلیون تن محصولات خوراکی و علوفه ای بدلیل فرسایش خاک، کمتر بدست می آید که این امر علیرغم سرمایه گذاریهای انجام شده در این مناطق یکی از دلایل فقر روستائی و عشایری در شرایط کنونی می باشد.

نکته مهم دیگری که در زمینه اثرات فرسایش و تهی شدن خاک اراضی باید یادآوری نمائیم، دیرپائی و استمرار زیانها برای یکدوره طولانی می باشد. کلارک (۱۹۸۲) نشان داده است که حدود ۲۰ سال پس از احیاء و بازیابی مراتع فرسایش یافته (از نوع لغزشی) حتی پس از عمل کوددادن تنها ۷۰ تا ۸۰ درصد توان تولیدی اولیه خود را بدست آورده اند. این مطلب ضرورت توجه بیشتر و عاجل بر پدیده فرسایش و رسوب را نشان می دهد.

## ۲-۸ اثرات اقتصادی - اجتماعی فرسایش و رسوب در " خارج از محل "

### ۱-۲-۸ زیان حاصل از پرشدن سدهای کشور

براساس اطلاعات موجود ، سالانه حدود ۱۸۰ میلیون تن رسوب در پشت ۱۶ سد کشور برجای می ماند که معادل ۱۵۰ میلیون متر مکعب از ظرفیت مفید سدها را کاهش داده و بالتوجه از عمر مفید آنها می کاهد. اگر تنها زیان هر متر مکعب کاهش ظرفیت مخازن سدها را حدود ۳۰ ریال در نظربگیریم رقم ۴/۵ میلیارد ریال خسارت سالانه و چندین برابر زیان تراکمی طی دوره عمر مفید پیش بینی شده دراین زمینه وارد می شود .

### ۲-۲-۸ خسارت ناشی از وارد شدن رسوب در انهار و کانالها

هرساله مقدار زیادی رسوب در انهار و کانالهای آبیاری ته نشین می گردد که بمنظور انجام کارکرد پیش بینی شده آنها لازمست لایروبی شوند و میلیونها ریال هزینه جهت انجام آن صرف می گردد .

### ۳-۲-۸ خسارت ناشی از سیل

هرساله زیانهای قابل توجهی به اراضی کشاورزی ، کانالها و شبکه های آبیاری و زهکشی ، پلها ، خطوط ارتباطی ، ساختمانهای روستائی و دولتی و مدارس و غیره در کشور وارد می شود . بدنبال جاری شدن سیل سهمگین سال ۱۳۶۵ ، ستاد ویژه بازسازی مناطق سیل زده در نهاد ریاست جمهوری و شورایعالی پیشگیری و کاهش صدمات به ریاست وزیر کشور و عضویت وزرای کشاورزی ، نیرو ، جهاد سازندگی ، راه و ترابری ، مسکن و شهرسازی ، بازرگانی بهداشت و درمان ، دفاع و پشتیبانی و روسای جمعیت هلال احمر و سازمان برنامه و بودجه ، براساس ماده یک قانون پیشگیری و مبارزه با خطرات سیل مصوب ۱۳۴۸/۲/۹ تشکیل گردیده است و هرساله اعتباراتی راجهت جبران و پیشگیری از سیل هزینه می نماید . براساس برآوردهای وزارت کشور در دوره بارندگی ۷۱-۷۰ بیش از ۲۰۰ میلیارد ریال در دوره ۷۱-۷۲ متجاوز از ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت ناشی از سیل بر اعیانی مزارع ، ساختمانها و راهها و غیره بوده است . همچنین سیل و طغیان به دیواره های رودخانه ها لطمه وارد نموده و هرساله اعتباراتی جهت انجام عملیات مهندسی رودخانه و سامان دادن به آن ( احداث دیواره ، راپی و اصلاح بستر رودخانه و غیره ) صرف می گردد. متاسفانه باید گفت که خسارت ناشی از سیل طی سالهای اخیر سیر صعودی داشته است . در صورتیکه خسارات ناشی از توقف حمل و نقل ، تولید و امر آموزشی را در جریان وقوع سیلابها به خسارات فوق اضافه نمائیم ، ملاحظه می شود که خسارت سیل چه ابعاد گسترده ای را شامل می شود .

نظر به اینکه بخشی از رواناب فصلی و دائمی در کفه‌های داخلی و نقاط پست بیابانی ریخته می‌شود، برجای ماندن املاح و محموله‌ها نه تنها بخشی از اراضی حاشیه‌ای را از حیز انتفاع خارج می‌سازد، بلکه پس از تبخیر آب در تابستان در اثر وزش بادهای نسبتاً شدید فصلی ذرات رسوب جابجا شده و در مسیر خود موجب ازدیاد سائیدگی سطح خاکهای زراعی و مرتعی مجاور و همینطور سطح راههای آسفالتی می‌شوند. این امر در واقع خسارت جدیدی بر اقتصاد کشور می‌باشد. سپس تجمع ذرات شن و ماسه در نزدیکی آبادیها و یا تاسیسات زیربنایی، صنعتی و یا خدماتی خطرات بالقوه دیگری بوجود می‌آورد که هر ساله از طریق عملیات تثبیت شنهای روان و بیابان‌زدائی بردوش دولت گذاشته می‌شود. رقم خسارت جبرانی فوق‌الذکر در سالهای گذشته بیش از ۲۰ میلیارد ریال در سال بوده است. بخش دیگری از رسوبات وارده به سواحل دریاها و دریاچه‌ها بر تاسیسات بندری و یا ساحلی خسارت وارد می‌کند.

ملاحظه می‌شود که هر یک از خسارات فوق بصورت زنجیره ای موجب بروز مسائل و مشکلات جدیدی در اقتصاد ملی می‌گردد که خساراتهای جدیدی بوجود می‌آورد. محققاً چنین روندی با توسعه اقتصادی - اجتماعی و زیست محیطی کشور مغایرت دارد و بایستی بطور جدی مورد توجه و تصمیم‌گیری قرار گیرد.



## مراجع و مأخذ :

- 1- Fuller, M.L.(1922) - Some unusual erosion features in the Loess of china Geogrl Rev.V 12 (570 - 584).
- 2- Rubey, W.W. (1928) - Gullies in the great plains formed by Sinking of the ground AM.J. sci. 215 (417).
- 3- Gibbs, H.S. (1945) - Tunnel gully erosion on the Wither Hills Marlborough. N.Z.J. of sci. of Tech. 27 (135 - 146).
- 4- Downes, R.G. (1946) - Tunnelling erosion in North - Eastern Victoria. J. Conn. sci. Ind. Res. Aust. 19 (283 - 292).
- 5- King, L.C. (1951) - Pothole erosion on the Western part of Molokai Island, Territory of Hawaii. J. Soil Wat. Conserv. 7 (197 - 98).
- 6- Fletcher, J.E., and Carroll, P.H. (1948) - Some properties of soils associated with piping in southern Arizona. Proc. Soil Sci. Sec. Am. 13 (545 - 547).
- 7- Brown, G.W. (1962) - piping erosion in colorado. J. Soil wat. Conserv. 17 (220 -222)
- 8- Parker, G.C. (1963) - piping, a geomorghic agentill land form development of the dry Lands. Int. ASS. Sci. Hydrd. Publ. 65 year Assembly Berkeley (103 - 113).
- 9- Downes, R.G. (1946) - Tunnelling erosion in North - Eastern Victoria. J.Coun. Sci. Ind. Res. Aust. 19 (283 - 292).
- 10- Charman, P.E.V. (1969) - the influence of sodium salts on soils with

reference to tunnel erosion in coastal areas. Part I kempsey Area. J. Soil Cons. N.S.W. 25 (327 - 342).

- 11- Ingles O.G., and Aitchison, G.D. (1969) - Soil Water disequilibrium as a Cause of subsidence in natural soils and earth embankments proc. symp on Land subsidence Tokyo (342 - 53).
- 12- Greenlands. D.J. (1964) - The interaction of organic additives with soil. Review paper session 7. Mechanisms of soil stabiliztion. Proceedings of a colleguim held at syndal, Victoria 6 - 8 th. Aprill 1964 - CSIRO Melbourne.
- 13- Souchier, B., and Douchoufour, P. (1969) - As cited by Gombeer and D,Hoore (1971) a.
- 14- Emerson, W.W., and smith, B.H. (1970) - Magnesium, organic matter and soil structure, Nature 228 (453 - 454).
- 15- Emerson, W.W. (1964) - Interaction of organic additives with soil. Review paper - session 7. Mechanisms of soil stabilization. proceedings of a colloquium help at syndal, Victoria, 6-8 th Aprill 1964 CSIRO Melbourne.
- 16- Rowell, D.L., Payne, D., and Ahmad, N. (1969). - the effects of the concentration and movement of solutions on the swelling dispersion and movement of clay in saline and alkali soils. J. Soil sci. 20 (1) (176 - 188).
- 17- Beer, C.E. and H.P. Johnson (1963) - "Factors in Gully growth in the Deep Loess Area of Western Iowa" Am - Soc. Agr. Eng. Trans. 6, (No.3), (237-240).

- 18- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith (1958) - "Rainfall Energy and Its Relation to soil Loss." Am. Geophys. Union Trans 39, 285 - 291.
- 19- Bagnold, R.A. (1941). The physics of Blown sand and Desert Dunes. Methuen, London.
- 20- Strahler. A.N. (1975) Physical Geography, 4 th. ed. Wiley, New York.
- 21- Hadley, R.F. (1981) - Rangeland Hydrology, Kendall/ Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, U.S.A. Toronto, Ontario, Canada.
- 22- Schwab, G.O.R.K. Frevert, T.W. Edminster, and K.K. Barnes, 1981, Soil and water Conservation Engineering 3rd Edition.
- 23- Bennett. H.H. (1939) - soil conservation. Mc Grow - Hill, N.Y.
- 24- Gifford. G.F. 1975. impacts of pinyon juniper manipulation on watershed values. p. 127 - 141 - in: proc. the pinyon juniper Ecosystem - A. symp utah state univ logan, may.