دکتر امین علیزاده
دانشکده کشاورزی مشهد

قدرت فرسایشی باران و ارزیابی آن در استان خراسان

مقدمه :

فرسایش خاك ازجمله مشکلاتی است که انسان از آغاز زراعت برروی زمین با آن مواجه بوده است. فرسایش به‌معنای وسیع‌کلمه عبارت است از: **جدا شدن ذرات از توده خاك و انتقال مواد جدا شده توسط یك عامل فرسایشی مانند جریان آب .**

فرسایش فرایندی است طبیعی و تکاملی، همان‌گونه که تشکیل خاك نیز فرایندی طبیعی می‌باشد. بنابراین جلوگیری ازفرسایش عملاً غیرممکن است. درواقع جلوگیری ازفرسایش خاك به‌معنی پایین آوردن میزان تلفات خاك تاحدی است‌که درآن سرعت تشکیل و فرسایش خاك برابر شود. فرسایش شدید به‌وضعیتی اطلاق می‌شود که درآن سرعت فرسایش خاك از سرعت تشکیل آن بیشتر باشد .

فرسایش تنها به‌مناطقی‌که‌خاك سطحی توسط‌آب یا باد ازبین می‌رود مربوط نمی‌شود بلکه این‌امر پی‌آمدهای ناگواری ازقبیل زوال کیفی مراتع، کاهش حاصلخیزی زمینهای کشاورزی ، رسوب‌گذاری در رود-خانه‌ها و مخازن سدها وغیره را نیز دربر دارد که اصلاح‌آنها، اگر غیر-عملی نباشد، حداقل کاری است مشکل.مثلاً درحال‌حاضر اگر سدی از رسوبات ناشی ازفرسایش پر شد تنها راه چاره رهاکردن آن و رفتن به سراغ محلی دیگر برای سد سازی است .

احیای سریع مراتع فرسوده نیزانتظاری بی‌مورد است. به‌همین دلیل است که سرمایه‌گزاریها باید عمدةً درجهت پیشگیری از فرسایش باشد تا درجهت احیاء منابع از دست رفته . درفرسایش عوامل متعـددی دخالت دارند که می‌توان آنهـا را در سه‌گروه تقسیم‌بندی کرد: گروه عوامل انرژی، گروه عوامل مقاومت خاك و گروه عوامل حفاظت خاك .

عوامل گروه انرژی که باعث فرسایش می‌شوند توانایی یا پتانسیل بارندگی، رواناب وباد است‌که ازآن به‌عنوان قدرت فرسایش یادخواهیم کرد. بحث اصلی دراین مقالـه مروری برتوان فرسایشی باران است و سرانجام وضعیت استان خراسان را به‌عنوان یك منطقه خشك و نیمه‌خشك ازنظر خواهیم گذراند .

عوامل دیگر گروه انرژی و یا سایر عواملی‌که درفرسایش دخـالت دارند موضوعات بسیار مفصل و پیچیده‌ای هستند که بیان آنها در این مقاله نمی‌گنجد. ناگفته نماندکـه اهمیت نسبی عوامل گـروه حفاظت یا مقاومت خاك نه‌تنها از اهمیت عوامل گروه انرژی کمتر نیست کـه در مناطقی مانند ایران بیشترازآن هم هست، ازنظر مقایسه بامناطق پرباران، قدرت فرسایشی باران درایران ممکن است چندان زیاد نباشد ولی عـدم رعایت مسایل حفـاظتی و نبود عوامل بازدارنـده فرسایش مانند پوشش گیاهی، باعث می‌شود که میزان فرسایش درپاره‌ای نقاط بسیار زیاد باشد.

کلیات

میزان فرسایش معمولاً برحسب واحد جرم یا حجم خاك در واحد سطح در واحد زمان توصیف می‌شود. – مثلاً کیلوگرم درهکتار درسال– در بررسی میزان فـرسایش در شرایط طبیعی مقـدار آن در مناطقی که شیب متوسط دارند ۰/۰۰٤٥ کیلوگرم‌درمترمربع در سال‌و در مناطقی که شیب تند دارند ۰/٤٥ کیلوگرم‌درمترمربع درسال ذکر شده است(۱۳).

ازنظر مقایسه، فرسایش در زمینهای کشاورزی که رقمی بین ٤/٥تا ٤٥ ($Kg^{-2}.y^{-1}$) است در گروه فرسایش شدید طبقه‌بندی می‌شود .

به‌لحاظ نظری، میزان تلفات خاك – چه زیاد باشد و چه کم – نسبت به‌سرعت تشکیل خاك مقایسه می‌شود. اگر خصوصیتهای خاك مانند بافت، عمق، و حاصلخیزی آن درطول زمـان ثابت بمانـد دراین‌صورت فرض می‌شود سرعت فرسایش باسرعت تشکیل خاك برابراست. هرتغییر کوچکی در پوشش گیاهی می‌تواند فرسایش قابل توجهی را به دنبال داشته باشد.

شدت فرسایش در زمانها و مکانهای مختلف متغیر است. رسوباتی که درنتیجه یك واقعه آب وهوایی معین ایجاد می‌شود به‌شرایط توپوگرافی، نوع خاك و نحوه استفاده از زمین بستگی دارد و این‌امر موجب تغییرات موضعی فرسایش می‌شود. درجایی‌که آب و هوا مرکب از مجموعه‌ای از حالات مختلف هوا باشدّتهای مختلف است، مهمترین عـامل در تغییرات زمـانی کوتاه مدت فرسایش را می‌توان «آب و هـوا» بشمـار آورد. خصوصیتهای اقلیمی، بخصوص مقدار وشدت بارندگی، درجاهای مختلف متغیر است، حال آن‌که تغییرات آمایشی زمین و نحوه بهره‌بری ازآن در رابطه باسیاستهای دولت و انگیزه‌های اقتصـادی است. ازاین گـذشته تغییرات زمانی درازمدت نیز ممکن است درفرسایش اتفاق افتد. این امر می‌تواند به‌دلایل نوسانات «آب و هـوایی» ازقبیل وقوع خشکسالیها و سالهای مرطوب، یا تغییرات خصوصیتهای خاك، مانند از دست رفتن مواد آلی باشد که اغلب در اثر استفاده ممتد از زمینهـا به‌وقوع می‌پیوندد. نقش متقابل تغییرات زمانی ومکانی فرسایش تاحد زیادی پیچیده است. علی رغم به‌هم‌پیوستگی این دوبهتر است‌آنهارا به‌طور مجزا مورد بررسی قرار دهیم.

تغییرات مکانی فرسایش

مطالعاتی که در زمینه رابطه تلفات‌خـاك و آب و هـوا در مقیاس جهانی انجام شده است نشان می‌دهد، فرسایش درجاهایی به‌حداکثر خود می‌رسد که میانگین بارندگی مؤثر سالانه آن ۳۰۰ میلی‌متر باشد. منظور از بارندگی مؤثر مقدار بارانی است‌که در شرایط مشخص درجه حرارت

بتواند مقدار معینی رواناب ایجاد کند. در وضعیتی کـه مقدار بارندگی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد باافزوده شدن بارندگی، فرسایش نیز افزایش می‌یابد. البته افزایش بارندگی باعث بهتر شدن پوشش گیاهی نیز می‌شود و این خود سطح خاك را بهتر محافظت می‌کند. اما در وضعیتی که مقدار بارندگی سالانه بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد نقش حفاظتی پوشش گیاهی برعوامل فرسایش فزونی گرفته درنتیجه باافزوده شدن بارندگی میزان تلفات خاك کاهش پیدا می‌کند(۵). شواهـدی در دست است کـه اگر نزولات جوی افزایش یابد بارنـدگی و رواناب ناشی از آن ممکن است به‌حدی زیاد باشد که خود باعث افزایش تلفات خاك شود.

در تحلیل داده‌های فرسایش باید دقت‌کافی به‌عمل آید، زیرا سرعت فرسایش بستگی به‌وسعت منطقه مورد مطالعه نیز دارد. قسمتی از رسوبات جـدا شده از تپه‌ها، خاکریزها، ویا خـاکبرداریها، همراه باآب راهی رودخانه‌ها می‌شوند اما بخشی از آنها درطول مسیر در دامنه تپه‌ها و یـا دشتها به‌جا مانده و موقتاً درآن‌جا ذخیـره می‌شوند. چون حوضه‌هـای بزرگ، نسبةً، زمینهای مسطحتر بیشتری که مناسب رسوب‌گذاری است دارند لذا میزان فرسایش در واحـد سطح درحوضه‌های کوچك زیادتر بوده و باافزایش وسعت حوضه ازمقدارآن کاسته می‌شود. نسبت بین‌مقدار خاك فرسایش یافته ومقدار رسوبی که وارد رودخانه می‌شود به‌نام نسبت انتقال رسوب نامیده می‌شود متأسفانه دراین مورد مطالعات زیادی انجام نشده است زیرا غالباً فقط مقدار تولید رسوب مورد نظر بوده است حال آن که نسبت حمل رسوب بسته به‌وسعت حوضه، بین ۳ تا ۹۰ درصد متغیر است. عدد کوچك برای حوضه‌های بزرگتر وحوضه‌هایی است‌که متوسط شیب آن کم باشد.

اهمیت نسبی عـوامل کنترل کننده تغییرات مـوضعی فرسایش در مقیاسهای مختلف، متفاوت است. دراین‌جا بیشترین تأکید برروی آب و هواست ولی تأثیر این عامل در سلسله مراتب مقیاس باتوجه به‌شکل زمین فقط در محدوده معینی است. دانشمندان عـلوم زمین در شوروی براین

عقیده‌اند که شکل ظاهری سطح زمین بستگی به‌چند عامل دارد که به‌ترتیب اهمیت عبارتنداز: ساختار زمین شناختی، آب وهوا، هیدرولوژی، خاك، پوشش گیاهی، انسان و حیوانات. هرچه ازمقیاس بزرگ (ماکرو) به‌طرف مقیاس کوچکتر (میکرو) برویم فاکتور غالب به‌تدریج تغییر پیدا می‌کند. مثلاً ازنظر فرسایش در مقیاس بزرگ فاکتور آب و هوا غالب است ولی در مقیاسهای کوچکتر فاکتور آب و هوا در تمام نقاط یکسان بوده و خاك و پوشش گیاهی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند.

چگونگی ارتباط عوامل کنترل کننده فرسایش را بامطالعه تراکم شبکه زه‌کش بهتر می‌توان درك کرد. ازجایی که تراکم زه‌کشها نشان‌دهنده توزیع جویبارها و سیستم زه‌کش و تا اندازه‌ای شاخص رواناب‌هم می‌باشد، می‌توان ازآن به‌عنوان شاخص شدت فرسایش استفاده کرد.

تغییرات تراکم زه‌کشها در مقیاس بزرگ نشان دهنده اختلاف آب و هوایی است. در مقیاس متوسط، تغییرات موضعی فرسایش را می‌توان نتیجه اختلافات حجم رواناب دانست، ولی تغییرات نوع سنگها و پستی و بلندی برپیچیدگی موضوع می‌افزاید. در مقیاس کوچك، تغییرات سنگ شناسی منطقه بانوع خاك توصیف می‌شود و شدت و فراوانی وقوع هریك از عوامل اقلیمی اهمیت پیدا می‌کنند.

تغییرات زمانی فرسایش

اکثر ژئومورفولوژیستها براین عقیده‌اند که قسمت عمده فرسایش در اثر وقایعی صورت می‌گیرد که شدت و فراوانی وقوع آنها متوسط است. زیرا وقایع بسیار شدید بقدری دیر اتفاق می‌افتند که نقش آنها در فرسایش خاك در یك دوره زمانی معین عملاً ناچیز است. مفهوم فراوانی «وقوع مقدار» توسط ولمن و میلر در مطالعات رسوب رودخانه‌ها به‌کار برده شده است. این پژوهشگران دریافتند که عامل اصلی رسوب، بارانهایی است که شدت آنها از شدت وقایعی که بالاترین فراوانی را دارند بیشتر است ولی به‌هیچ وجه جزء وقایع فرین محسوب نمی‌شوند.

یعنی دوره بازگشت آنها در مقایسه باحداکثر دبی مقطع رودخانه بین ۱/۳۳ تا ۲ سال می‌باشد (۱۱).

در بین سالهای ۱۹۵۹ الی ۱۹۶۳ مفهومی مشابه توسط روس به‌طور آزمایشی مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه‌ها نشان داد که ۶۸درصد تلفات خاك از بارانهایی ناشی شد که مقدار آنها بین ۱۵ تا ۶۰ میلی متر بود. این بارانها مربوط به وقایعی بودندکه درهرسال ۱۰بار اتفاق می‌افتادند (۸). مطالعاتی که بین سالهای ۱۹۷۳ تا ۱۹۷۹ درانگلستان انجام شد نشان دادکه۸۰درصد فرسایش تنها از۱۳بارندگی حاصل شد وبزرگترین آنهاکه ۵۷۱۲ میلی‌متر بود به‌تنهایی ۲۱ درصد تلفات خاك را موجب شد. این بارندگیها دارای فراوانی وقوع ۲تا٤بار درسال بودند(۷). اندازه‌گیریهای فرسایش در نیجریه، نشان داده است که نیمی از تلفات سالانه خاك را فقط ۲ تا ۷ بارندگی به‌وجود می‌آورند حال آن که در ایالات چایکاری کنیا اندازه‌گیریها نشان داد که نیمی از تلفات سالانه خاك مربوط به ۳تا٦ بارندگی است(٤). باوجود این شواهد که اثر وقایعی بافراوانی زیاد را در شیب تپه‌ها به‌اثبات می‌رساند، هودسن نقش وقایع فرین را یادآور می‌شود. وی براساس تحقیقاتی که در زیمبابوی انجام داده است اظهار می‌دارد ۵۰ درصد تلفات خاك فقط به‌وسیله ۲ بارندگی به‌وجود آمده است و دریکی از سالها۷۵ درصدفرسایش‌درمدت ۱۰ دقیقه صورت گرفته است (۳).

مقایسه نتیجه‌های حاصل از مطالعات انتقال رسوب در شیب تپه‌ها و رودخانه‌ها نشان می‌دهدکه اولاً درمورد اول فاکتور غالب بارندگیهایی است که فراوانی وقوع آنها زیاد است ثانیاً اثر مقدار فراوانی وقوع بارانهای مؤثر بسته به فرآیند فرسایش متغیر است. بررسی کل آلودگی آب و رسوبات حاصل از زمینهای زراعتی و چمنزارهای منطقه مجتا در تانزانیا نشان داده است که باران مؤثر در فرسایش، بارانی است که دوره بازگشت آن ۵ سال باشد(۷).

هرچند قسمت اعظم فرسایش خاك در شیب تپه‌ها و حمل رسوب در

رودخانه‌ها توسط بارانهایی‌صورت‌می‌گیرد که فراوانی وقوع آنها نسبةً متوسط است ولی اثر بارانهای فرین بسیار زیان‌آور است. زیرا بارانهای فرین به‌نحو کاملاً متفاوتی عمل کرده و تأثیرگذاری آنها طولانیتر است. به‌عنوان مثال بارانهایی که دوره برگشت آنها یك بار در هر۱۰۰ سال می‌باشد منشأ ایجاد خندقها (گالیها) و تشکیل آبراهه‌های جدید است. باران ۲۸ دسامبر ۱۹۲۶ منطقه کوانتان در شبه جزیره مالزیا که از طوفانهای با حرکت کند استوایی حادث شده بود ۶۳۱ میلی‌متر ارتفاع داشت و درفاصله ۲۶ تا ۲۹ دسامبر ۱۱۹۴ میلی متر باران باریده بود. این بارانها باعث فرسایش شدید خندقی شد و زمین لغزه‌های زیادی به‌وجود آورد. به‌طوری که آثار ظاهری آن درسطح زمین پس‌از۳۵ سال هنوزهم مشهود است .

اهمیت بارانهای فرین در فرسایش توسط تورنز در جنوب اسپانیا نیز مورد بررسی قرار گرفته است. دراین منطقه که در بین روزهای ۱۷ تا ۱۹ اکتبر سال ۱۹۷۳ در اطراف اوگیجار ۱۹۸ میلی‌متر باران بارید و فقط ۱۷۵ میلی متر آن در ۱۸ اکتبر بود، تغییرات زیادی در شیب تپه‌ها به وجودآمد وآبراهه‌های متعددی ایجاد شد. دوره برگشت این‌بارندگی حدود ۵۰۰ سال تخمین زده شده است. در این منطقه در شیب تپه‌ها شیارهای موازی ونزدیك به‌هم زیادی به‌عمق ۳۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر ایجاد شد، در بین هرچند شیار، زمین لغزه‌های سطحی به وجود آمد و مقدار زیادی مواد رسوبی در تراس رودخانه به‌جا گذاشته شد(۹).

مکانیسم فرسایش

فرسایش خاك شامل دومرحله است. یکی جدا شدن ذرات از توده خاك و دیگری انتقال مواد توسط یك عامل فرسایشی مانند جریان آب یا باد . هنگامی که انرژی برای انتقال مواد کافی نباشد مرحله سومی بنام ته نشینی نیز ظاهر می‌شود .

تصادم قطرات باران با زمین مهمترین عامل جداکننده ذرات خاك

است. در اثر برخورد قطرات باران با یك خاك لخت ذرات خاك از جا كنده و تا شعاع چند سانتی‌متری در هوا پراكنده می‌شوند. برخورد مداوم قطرات شدید باران به‌سطح زمین – موجب تضعیف خاكدانه‌ها می‌شود. علاوه‌براین، فرایندهای هوازدگی، چه به‌صورت مكانیكی از راه خشك و مرطوب شدن متناوب یا گرم و سرد شدن و یا یخ زدگی – و چه به‌صورت بیوشیمیایی، موجب تخریب خاك می‌شود. خاك ازیك‌طرف با عملیات شخم زیر و رو و از طرف دیگر توسط انسان و دام فشرده می‌شود. جریان آب نیز یكی از عوامل جداكننده ذرات خاك است. كلیه این عوامل باعث شل شدن ذرات خاك می‌شوند به‌نحوی‌كه به‌آسانی توسط عوامل انتقال دهنده به حركت در می‌آیند.

عوامل انتقال دهنده خود به‌دو دسته تقسیم می‌شوند، یكی عواملی كه قبلاً عمل كرده و باعث جدا شدن لایه‌های یكنواخت ذرات خاك شده‌اند و دیگری عواملی كه تأثیر آنها در آبراهه‌ها مشخص می‌شود. از عوامل گروه اول می‌توان تصادم قطرات باران و یا رواناب سطحی را نام برد. عامل دوم جریان آب در آبراهه‌هاست. آبراهه‌ها ممكن است شیارهای كوچكی باشند كه در اثر هوازدگی یا شخم به‌وجود آمده‌اند یا جویهای بزرگ دائمی مانند خندقها.

شدت فرسایش به‌مقدار موادی كه ازجا كنده می‌شود و توان عامل فرسایشی در انتقال این مواد بستگی دارد. اگر توان عوامل انتقال دهنده بیش‌از مقدار ماده‌ای باشد كه ازجا كنده می‌شود دراین‌صورت فرسایش ازنظر جدا كردن ذرات در محدودیت خواهد بود و اگر مقدار مواد جدا شده از بستر بیش از مقداری باشد كه انتقال داده می‌شود در این – صورت فرسایش از لحاظ انتقال دارای محدودیت خواهد بود.

تشخیص این‌كه كدام یك ازاین عوامل(جدا شدن یا انتقال)محدود كننده است بسیار حایز اهمیت است زیرا موفقیت یا شكست برنامه‌های حفاظت خاك متكی برعملیاتی است كه در آن باید یكی از این فاكتورها اصلاح شود.

انرژی موجود برای فرسایش از دو نوع است، یکی انرژی پتانسیل و دیگری انرژی سینتیك. انرژی پتانسیل (PE) در اثر اختلاف ارتفاع یك جسم نسبت به‌جسم دیگر به‌وجود می‌آید، و آن عبارت است ازحاصل ضرب جرم جسم (m) در اختلاف ارتفاع (h) درشتاب ثقل زمین(g) به‌عبارت دیگر:

$$PE = mhg \qquad (۱$$

که در سیستم آحاد m ،kg و ms^{-2} واحد آن ژول می‌باشد. در فرسایش انرژی پتانسیل به‌انرژی سینتیك(KE) یا انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. انرژی جنبشی به جرم جسم و سرعت (V) عامل فرسایش دهنده بستگی دارد.

$$KE = \tfrac{1}{2} m V^2 \qquad (۲$$

که مقدار آن در سیستم آحاد $kg(ms^{-1})^2$ برحسب ژول توصیف می‌شود. قسمت اعظم انرژی در اثر اصطکاك باسطوحی که عامل فرساینده با آن درتماس است ازبین می‌رود به‌طوری‌که فقط ۳تا٤درصد انرژی جریان آب و فقط۲/۰درصد انرژی سقوط قطرات باران در فرسایش دخالت دارند. اگر این ارقام را در محاسبه انرژی جنبشی (معادله۲) دخالت دهیم بافرض مقدار مناسبی برای سرعت، می‌توانیم معیاری ازکارایی فرایندهای مختلف فرسایش آبی‌را مطابق جدول۱ به دست آوریم. تمرکز جریان آب در داخل شیارها مهمترین عامل فرسایشی‌است. هرچندانرژی قطرات باران نسبت به‌جریان سطحی بالقوه قویتر است، اما قسمت اعظم انرژی قطرات باران صرف جدا شدن ذرات خاك می‌شود به‌طوری که انرژی باقی مانده برای‌انتقال مواد، کمتر ازمقدار انرژی جریان سطحی است.

آبی که توسط باران به‌سطح زمین می‌رسد یا درگودالهای کوچك روی زمین ذخیره می‌شود و یا درخاك نفوذ می‌کند باعث افزایش ذخیره رطوبتی‌آن می‌شود. بعضی‌وقتهانیزبه‌نفوذعمقی خودادامه می‌دهد وبه‌آبهای

جدول ۱ ــ کارایی فرسایش آبی.

مقدار فرسایش مشاهده شده	(انرژی برای فرسایش)	(انرژی سینتیک)	سرعت	جرم	
gcm^{-1}			ms^{-1}		
20	0.081 R	40.5 R	9	R	قطرات باران
400	7.5×10^{-7} R	2.5×10^{-5} R	0.01	0.5 R	جریان سطحی
1900	0.12 R	4 R	4	0.5 R	جریان آبراهه‌ای

در این جدول انرژی سینتیک از فرمول $\frac{1}{2}mv^2$ محاسبه و فرض شده است که ۰/۲ درصد انرژی قطرات باران و ۳ درصد انرژی سینتیک رواناب صرف فرسایش می‌شوند. هم‌چنین فرض شده است که از جرم R باران ۵۰ درصد آن به رواناب تبدیل شود. جریان آبراهه‌ای از روی معادله مانینگ بافرض شیب ۱۱ درجه، عرض شیار ۰/۳ متر وعمق ۰/۲ متربه‌دست آمده است.

زیرزمینی ملحق می‌شود. اگرمقدارآب بیش از توان جذب خاك باشد مقداری از آن درزیر سطح خاك ودرامتداد شیب زمین به‌حرکت درمی‌آید که به آن جریان زیر بستری گفته می‌شود. قسمتی نیز در سطح زمین جاری می‌شود که آن را رواناب سطحی می‌نامند و باعث ایجاد فرسایش خندقی و شیاری می‌شود.

سرعت ورود آب به داخل خاك را میزان نفوذ می‌گویند که مقدار آن مهمترین عامل کنترل کننده رواناب سطحی به‌شمار می‌رود.

در زمان بارندگی، منافذ بین ذرات خاك از آب پرشده و نیروی موئینگی به‌تدریج کاهش پیدا می‌کند. بدین‌ترتیب در ابتدای بارندگی میزان نفوذ زیاد و سپس به‌آرامی کاهش پیدا کرده به‌طوری‌که سرانجام درحد مشخصی ثابت باقی می‌ماند که به‌آن ظرفیت نفوذ گفته می‌شود. سرعت نفوذ به خصوصیتهای خاك بستگی دارد. معمولاً خاکهای درشت

بافت مانند شن و لوم شنی به‌دلیل داشتن منافذ درشت دربین ذرات، نسبت به‌خاکهای رسی سرعت نفوذ بیشتری دارند. سرعت نفوذ از حدود ۲۰۰ میلی‌متر در ساعت (یا بیشتر) برای شن تـا کمتراز ۵ میلی‌متر در ساعت برای رسهای سنگین متغیر است.

بنا به‌گفته هورتون، اگر شدت بارندگی کمتر از ظرفیت نفوذ خاك باشد رواناب سطحی ایجاد نخواهد شد و سرعت نفوذبرابر شدت بارندگی خواهد بود. ولی اگر شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ بیشتر باشد، سرعت نفوذ برابرظرفیت نفوذ شده و بارندگی اضافی به‌صورت رواناب درسطح زمین جاری خواهد شد. باید توجه داشت که مقایسه بین شدت بارندگی و ظرفیت نفوذ از نظر پیش‌بینی رواناب در همه جاصادق نیست. مثلاً در انگلستان مشاهده شده است کـه ظرفیت نفوذ در یك خاك شنی بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر در ساعت است. در همین منطقه شدت بارندگی به‌ندرت از ۴۰ میلی‌متر درساعت تجاوز کرده است لذا قاعدةً نباید انتظار هیچ‌گونه روانابی را داشت. حال آنکه میانگین رواناب حـاصله از ۵۵۰ میلی‌متر بارندگی سالانه این منطقه حدود ۵۵ میلی‌متر است(۷).

عامل مهـم کنترل رواناب دراین خاکهـا ظرفیت نفوذ نیست بلکه درصد رطوبت اولیه خاك است کـه اگر ازحد معینی تجاوز کند باعث کـاهش فشارآب منفذی در لایه سطحی خـاك می‌شود و آن را به‌صفـر می‌رساند. ودرنتیجهٔ آن آب درسطح خاك به‌صورت مانداب باقی می‌ماند. به‌همین دلیل است که خاکهای شنی با داشتن مقدارکمی ذخیره موئینه‌ای حتی اگر شدت بارندگی ازظرفیت نفوذ هم کمتر باشد به‌سرعت رواناب تولید می‌کنند. چون هدایت هیدرولیکی جریانی است‌که تاحدی توسط شدت بارندگی کنترل می‌شود، افزایش شدت بارندگی می‌تواند باعث بالا رفتن هدایت هیدرولیکی شود، به‌طوری‌که در یك بارندگی باشدت کم ممکن است بلافاصله رواناب ایجاد شود. حال‌آن‌که شدتهای زیادترممکن است رواناب زیادتری را تولید نمایند، مکانیسم فوق مبین این مطلب‌است که چرا گاهی سرعت نفوذ باافزایش شدت بارندگی افزایش می‌یابد؟

فرسایش در اثر تصادم قطرات باران

اثر تصادم قطرات باران به ذرات خاك را به‌آسانی می‌توان از روی مومنتم یا اندازه حرکت یك قطره باران در هنگـام برخورد بایك سطح شیب‌دار متوجه شد. مؤلفه‌ای از آن‌که در امتداد شیب است به‌طور کامل به سطح خاك منتقل می‌شود ولی از مؤلفهٔ عمودی‌قسمتی به سطح خـاك منتقل شده و بقیه آن در اثر عکس‌العـمل خنثی می‌شود. انتقال اندازه حرکت به سطح خـاك دو اثر عمـده دارد، یکی این‌کـه تولید نیروی تحکیم‌کرده وباعث فشرده شدن خاك می‌شود، دیگر این‌که چون قطرات باران پس‌از برخورد باخاك به‌صورت جتهای جانبی در اطراف پراکنده می‌شود تولیـد نیروی گسیختگی می‌کند. معمولاً سرعت حرکت این جتها حدود دوبرابر سرعت قطرات باران است و این مقدار برای سرعت دادن به‌ذرات خاك و پراکنده کـردن آنها در هوا به همراه قطـرات کوچکی که ازشکسته شدن قطره اصلی به‌وجود آمده‌اند کفایت می‌کند. بنابراین قطرات باران عواملی هستند کـه هـم عمل تحکیم را به عهده دارند و هم عمل پراکندگی ذرات خاك را .

اثر تحکیم را می‌توان به‌هنگام تشکیل سله در سطح خـاك مشاهده کردکه حدود چند میلی‌متر ضخامت داشته و ازمسدود شدن منافذ خاك در نتیجه تراکـم به وجود می‌آید. به‌عقیده برخی پژوهشگران تشکیل سله به‌علت پراکنده شدن ذرات ریز خاکدانه‌ها وکلوخه‌ها وقرارگرفتن مجدد آنها در منافذ خالی خاك است(۲) .

مهمترین اثر سله‌های سطحی کاهش دادن ظرفیت نفوذ و بالابردن میزان رواناب سطحی است.

حساسیت خاکها دربرابر سله‌ای شدن باشاخص پایداری (C_{5-10}) سنجیده‌می‌شود. شاخص مذکور عبارت‌است از $\omega_{10} - \omega_5$ که ω_5 و ω_{10} به ترتیب عبارتند از ، درصد وزنی رطوبت خاك در شرایطی کـه دو طرف شیار ایجاد شده در خاك درآزمایش کازاگراندی با ۵ و ۱۰ ضربه به‌هم متصل

شود. اگر شاخص فوق بزرگتر از ۳ باشد نشان دهنده پایداری خاکها و اگر از ۲/۵ کمتر باشد نشانه حساسیت‌به سله‌ای شدن است . با افـزایش مقدار رس و مواد آلی خاك قابلیت سله‌ای شدن خاك کاهش می‌یابد زیرا این مواد مقاومت بیشتری به‌خاك می‌دهند. بنابراین خـاکهای لومی و لوم شنی حساسترین نوع خاکها نسبت به سله‌ای شدن می‌باشند.

مطالعاتی که در زمینه انرژی جنبشی لازم برای جدا شدن یك‌کیلو-گرم خاك در اثر برخورد قطرات باران صورت گرفته نشان می‌دهد که برای ذراتی که قطرشان ۱۲۵ میکرون است حـداقل انرژی مورد نیاز می‌باشد. ضمناً ذراتی که قطر آنها بین ۶۳ تا ۲۵۰ میکرون است بیش‌از همه نسبت به جدا شدن حساسند. این بدان معنی است که خاکهایی کـه درصد زیادتری از ذرات آنها دراین دامنه قرار گرفته است نسبت به‌جدا شدن‌حساس بوده وجداشدن انتخابی این‌ذرات باعث‌می‌شود تا دراثرتصادم قطرات تغییراتی در بافت خاکهای پایین دست به‌وجود می‌آید .

قدرت فرسایشی باران

تلفات خاك با بارندگی رابطه‌ای نزدیك دارد، یکی به‌دلیل توانایی قطرات باران در جداکردن ذرات خاك در هنگام تصادم با سطح زمین و دیگری به‌دلیل رواناب حاصل‌ازآن. نقش بارندگی بخصوص درفرسایش روی زمینی و شیاری است کـه دراین میان شدت بارنـدگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. باافزایش شدت بارندگی میزان تلفات خاك نیز به طور متوسط افـزایش می‌یابد. البته مطالعاتی کـه در انگلستان صورت گرفته حاکی از این است‌که نقش شدت بارندگی همیشه یك جور نیست. به‌نظـر می‌رسد فرسایش باد و نوع بارنـدگی در ارتبـاط باشد: بارانهای کوتاه مدت شدید که از ظرفیت نفوذ خاك بیشترند و بارانهای طولانی مدت با شدت کم که فقط باعث اشباع خاك می‌شود. در بسیاری مواردمتمایزساختن‌اثراین‌دوتیپ بارندگی‌برتلفات خاك، بسیارمشکل است .

مقاومت خاك در قبال بارندگی را ازنظر فرسایش می‌توان ازروی

شرایط هواشناختی تعیین کرد.

سئوالی که مطرح می‌باشد این است که چه‌میزان بارندگی باید وجود داشته باشد تا مقدار فرسایش قابل توجه باشد. گرچه اهمیت بارندگیهای شدید را نمی‌توان نادیده گرفت ولی اکثر پژوهشگران براین عقیده‌اند که بیشترین فرسایش را نزولات متوسط، و نه‌چندان شدید، که مقدارآنها بین ۳۰تا۶۰میلی‌متر است برعهده دارند. عقیده‌های مشابهی در مورد شدت بارندگی بحرانی درفرسایش نیز اظهار شده‌است. هودسن براساس مطالعات خود در زیمبابوی رقم ۲۵میلی‌متر در ساعت‌را برای شدت بحرانی اظهار داشته است. وان‌آش‌واواپی‌ما (۱۲) آستانه ۲/۵میلی‌متر درساعت و بولینی (۱) آستانه یك میلی متر در ساعت را در بلژیك ملاك قرار داده‌اند.

آستانه بارندگی بستگی به‌فرایند فرسایش دارد. رقمهایی که دربالا ذکر شد، همان طورکه پژوهشگران مختلف ذکر کرده‌اند، مربوط به فرسایش شیاری و روی زمینی است. در کوالالامپور مالزیا جریان روی زمینی زمانی رخ می‌دهد که شدت بارندگی به ۶۰تا۷۵میلی‌متر در ساعت برسد. در انگلستان گزارش شده است که فرسایش شیاری پس‌از ۷/٤ میلی متر باران آغاز شده است. حال آن‌که در بلژیك چنین فرسایشی زمانی مشاهده شده که مقدار کل بارندگی دو روز متوالی ۲۰ میلی متر بوده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که برای پیدایش خندقهای جدید بارانهایی با دوره بازگشت بیش‌از ۱۰ سال لازم است ، گرچه فرسایشهای خندقی و جریان روی زمینی در اثر وقایع هواشناختی با مقادیر و فراوانیهای مختلف، صورت می‌گیرند ولی تمایز بین آنها هنوز روشن نیست. اما در استاندارد جهانی و برحسب تجربه، این‌گونه فرسایشها در اثر بارندگیهای فرین اتفاق می‌افتند. مسأله مهم این است که اثر یك بارندگی فرین ممکن است بسیار طولانی باشد و باعث شود تا چندین سال تلفات خاك افزایش پیدا کند. این‌که چند سال وقت لازم است تا پس‌از یك سیل شدید و پیدایش خندقها دوباره اوضاع بهبود یابد

هنوز مشخص نشده است ولی تورن براساس اطلاعات موجود این زمان را ۵۰ سال ذکر کرده است(۷).

شاخصهای قدرت فرسایشی باران

مناسبترین شاخص ازنظر قدرت فرسایش‌دهی باران، کاربرد انرژی جنبشی یا سینتیك قطرات باران است. لـذا قدرت فرسایشی باران تابعی است از شدت: مدت، وزن قطرات، قطر و سرعت آنها. برای محاسبه قدرت فرسایشی در ابتداء لازم است چگونگی توزیع اندازه قطرات باران را تجزیه و تحلیل کنیم.

باوجود تمام مشکلات، امکان این که بتوان یك رابطه کـلی بین انرژی سینتیك وشدت بارندگی برقرارکرد وجود دارد. ویشمایرواسمیت رابطه زیر را به دست آورده‌اند(۱۰).

$$KE = 11.87 + 8.73 \log I \qquad (۳$$

در این فرمول I شدت بارندگی برحسب (mmh^{-1}) KE انرژی‌سینتیك $(J\,m^{-2}.mm^{-1})$ است.

براساس اندازه‌گیری خصوصیتهای بارندگی زانچی و توری نیز در ایتالیا تحقیقات مشابهی را انجام و فرمول زیر را پیشنهادکرده‌اند(۱٤).

$$KE = 9.81 + 11.25 \log I \qquad (٤$$

معادله ۳ نشان می‌هد که در شدتهای بیشتر از ۷۵ میلی‌متر در ساعت انرژی سینتیك حدود ۲۸ ژول برمترمربع برمیلی متر $(J\,m^{-2}\,m\,m^{-1})$ است حال آن‌که تحقیقات انجـام شده در ایتالیا این مقـدار (مقدار انرژی سینتیك۲۸) را در شدت ۱۵۰ میلی‌متر در ساعت $(J\,m^{-2}\,m\,m^{-1})$ به دست می‌دهـد.

برای محاسبه انرژی جنبشی باران باید داده‌های مربوطه به بارندگی که از باران نگار به دست می‌آید استفاده شود. برای این منظـور مدت بارندگی به تعدادی فاصله‌های (پریود) کوچك که در هرکدام بتوان

شدت بارندگی را یکنواخت درنظر گرفت تقسیم می‌شود. با مشخص بودن شدت بارندگی در هرپریود مقدار انرژی جنبشی باران توسط یکی از فرمولهای فوق محاسبه و درمقداربارندگی ضرب می‌شود. بدین‌ترتیب انرژی جنبشی در هرپریود محاسبه می‌شود. حال اگر انرژی جنبشی در تمام پریودها را باهم جمع کنیم انرژی جنبشی یا سینتیك کل باران به دست می‌آید.

اگر به‌خواهیم شاخص فرسایشی باران، بیانگر توان بارندگی در فرسایش خاك هم باشد، لازم است این شاخص را در رابطه باتلفات خاك توصیف کنیم: ویشمایر و اسمیت در مطالعات خود مشاهده کردند که تلفات خاك در انواع مختلف فرسایش یعنی فرسایش در اثر برخورد قطرات باران با زمین، فرسایش در اثر جریان روی زمینی و فرسایش شیاری بستگی به شاخصی دارد که در آن، هم انرژی جنبشی ملحوظ شده باشد و هم حداکثر شدت در پریود زمانی ۳۰ دقیقه‌ای.

(I_{30})البته براین شاخص که باعلامت EI_{30} مشخص می‌شود انتقاداتی نیز وارد است. مثلاً فرض شده است شدت بارندگیها ملایم باشد. حال آن که هودسن نشان داده است‌که فرسایش در بارانهایی بیشتر صورت می‌گیرد که شدت آنها از ۲۵ میلی متر در ساعت بیشتر باشد. منظور از شاخص I_{30} آن بوده است تا نقشی که بیش‌از حد به‌شدت بارندگی داده می‌شدتا اندازه‌ای تعدیل شود. ولی این کوشش زیاد، هم موفقیت آمیز نبوده زیرا نسبت بارانهای فرسایش‌زا به بارانهای غیر فرسایشی در I_{30} به‌طورکامل درنظرگرفته نشده است. درواقع هیچ دلیلی وجود ندارد که حداکثر شدت بارانهای ۳۰ دقیقه‌ای به‌عنوان مناسبترین پارامتر انتخاب شود.

هودسون $KE>25$ را به‌عنوان شاخص فرسایشی درنظر گرفت. این مقدار برابر است با مجموع انرژی جنبشی در پریودهایی از بارندگی‌که درآن شدت بارندگی ۲۵ میلی‌متر درساعت یا بیشتر باشد. وی هنگامی‌که داده‌های مربوط به فرسایش خاك در زیمبابوی‌را بااین شاخص بررسی

کرد ، مشاهده کرد که رابطه بین تلفات خاك باشاخص مذکـور بهتر از رابطه آن با EI_{30} است (۷) . درجدول ۲ طریقهٔ محاسبه توان فرسایشی باران به روشهای مختلف نشان داده شده است .

جدول ۲ ــ محاسبه توان فرسایشی .

زمان از شروع (mm)	بارندگی (mm)	شدت (mmh^{-1})	انرژی جنبشی ($J\,m^{-2}\,mm^{-1}$)	انرژی کل ستون ۴ × ستون ۲ ($J\,m^{-2}$)
0–14	1.52	6.08	8.83	13.42
15–29	14.22	56.88	27.56	391.90
30–44	26.16	104.64	28.58	747.65
45–59	31.50	126.00	28.79	906.89
60–74	8.38	33.52	26.00	217.88
75–89	0.25	1.00	—	—

انرژی جنبشی از معادله ۲ محاسبه شده است

شاخص فرسایشی

شاخص ویشمایر (EI_{30})

۵۷/۶۶ mm = ۳۱/۵ + ۲۶/۱۶ = حداکثر بارندگی در ۳۰ دقیقه

۲ × ۵۷/۶۶ = حداکثر شدت در ۳۰ دقیقه

۱۱۵/۳۲ mmh^{-1} = مقدار کل انرژی جنبشی

جمع ارقام ستون ۵

= ۲۲۷۷/۷۴ Jm^{-2}

EI_{30} = ۲۲۷۷/۷۴ × ۱۱۵/۳۲

= ۲۶۲۶۶۸/۹۸ $Jm^{-2}\,mmh^{-1}$

فقط جمع خطوط ۲ و ۳ و ۴ و ۵ از ستون ۵ — شاخص هودسون ($KE > 25$) برای کل انرژی جنبشی درشدتهای بزرگتر از ۲۵ میلی‌متر در ساعت

= ۲۲۶۴/۳۲ Jm^{-2}

ارزیابی خطرات فرسایش

ارزیابی خطرات ناشی از فرسایش حالت خاصی از ارزیابی منابع است. منظور از ارزیابی آن است که زمین را به مناطقی که ازنظر خطرات فرسایش مشابه باشند تقسیم‌بندی نمائید. معمولاً برای تشخیص چگونگی تغییرات پتانسیل فرسایش از اطلاعات فرسایش دهی استفاده می‌شود.

دوشاخص مهم برای شدت فرسایش توسط مورگان به‌کار برده شده است که عبارتند ازتراکم شبکه زه‌کش، یعنی مجموع طول آبراهه‌ها در واحد سطح حوضه که این مقدار معادل تراکم خندقها (آب بریدگیها) است. زیرا خندقها به عنوان آبراهه رده یک درنظر گرفته می‌شوند. براساس مطالعات سینی‌نیل‌اف اگر تراکم شبکه زه‌کش ۲کیلومتر در کیلومترمربع باشد خطر فرسایش کم، واگر مقدار آن $Km\,Km^{-2}$ ۱۵ باشد خطرفرسایش زیاد خواهد بود(٦) در مورد بافت شبکه زه‌کش رقم ۲۹ ملاك می‌باشد که نقاط آسیب پذیر و نقاط مطمئن را از همدیگر جدا می‌سازد. بالا بودن تراکم زه‌کش بدین معنی است که در بارانهای معمولی ومتوسط رواناب به‌سرعت تخلیه می‌شود حال آن‌که بالا بودن بافت زه‌کشها نشان دهندهٔ فصلی بودن بارندگی و زیاد بودن شدت بارندگیها است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

کاربرد شاخصهای فرسایش

برای مشخص کردن تغییرات محلی قدرت فرسایشی باران می‌توان از آمار فرسایش دهی متوسط ماهانه استفاده کرد. روش محاسبه در جدول۲ ذکر شده است. روش دیگر استفاده ازشاخص فرسایش بارندگی یعنی R می‌باشد که مقدار آن برابر است با $\frac{EI_{30}}{100}$ که برطبق پیشنهاد ویشمایر و اسمیت(۱۰) E برحسب فوت - تن در ایکرو I_{30} برحسب اینچ در ساعت است. نقشه‌های R ، مخصوصاً برای آن که در معادله یونیورسال فرسایش نیز کاربرد دارند برای بسیاری از کشورهای جهان ترسیم شده است.

باتوجه به ایستگاههای سینوپتیك وکلیماتولوژی سازمان هواشناسی کشور و ایستگاههای باران‌سنجی سازمان آب منطقه خراسان (تا حدی که داده‌های آن به‌طور غیر رسمی در اختیار بوده است) نقشه فرسایش‌ـ دهی باران مطابق شکل (۱) به روش فوق ترسیم شده است. البته برای بسیاری نقاط، داده‌های باران‌نگاری به منظور انجام محاسبات دراختیار نبوده است درچنین مواردی از رابطه تجربی $EI_{30} = 50\,P$ ، که P بارندگی متوسط سالانه (mm) است ، استفاده شده است .

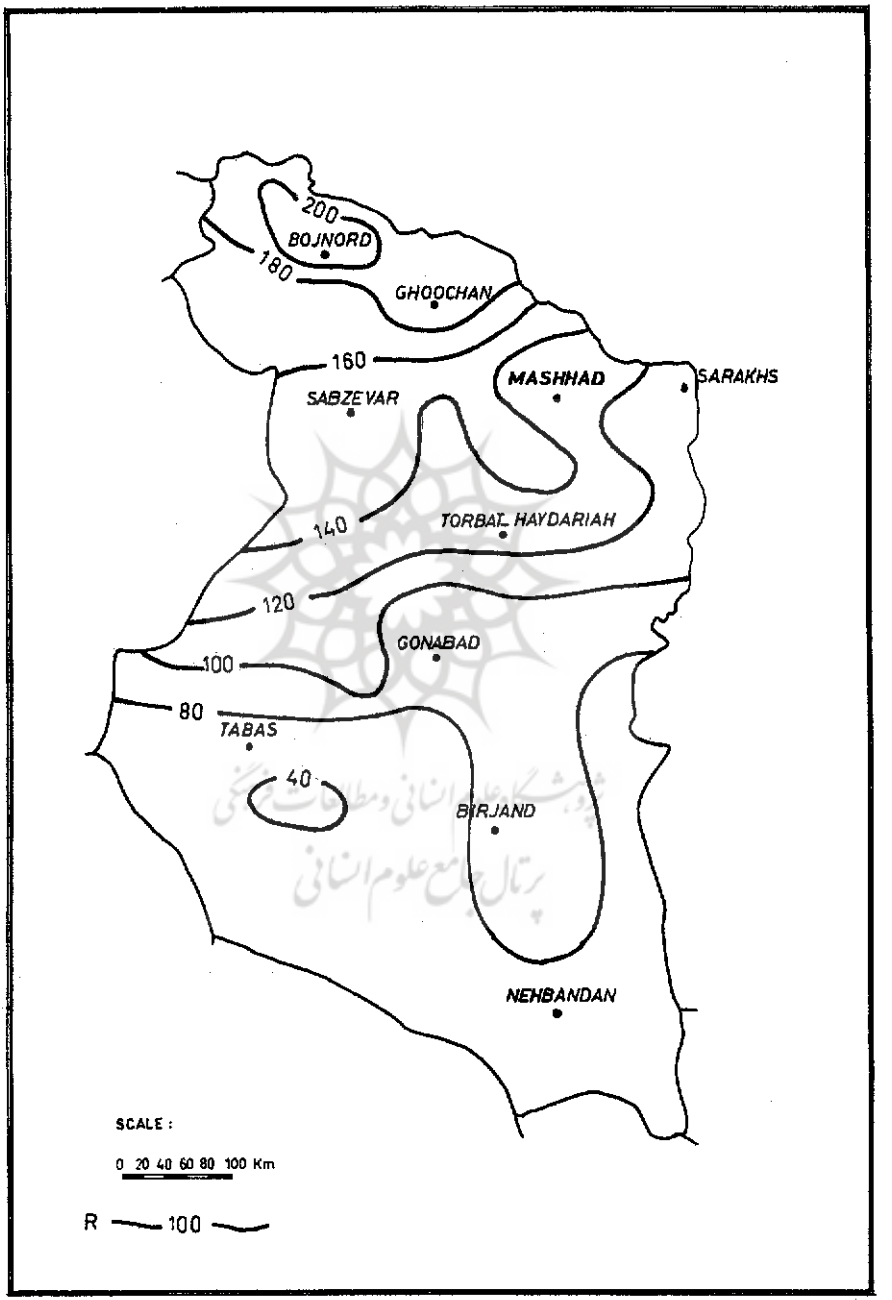
باتوجه به تغییرات شدید بارندگی روزانه در فصل بارندگی ، حداکثرشاخص‌فرسایش‌دهی روزانه (Jm^{-2}) براساس‌آمار موجود و با روش ذکر شده در جدول(۱) محاسبه و نقشه حداکثر شاخص فرسایش دهی روزانه برای استان خراسان مطابق شکل(۲) رسم شده است. در مواردی که آمار باران‌نگاری وجود نداشته است برای محاسبهٔ شاخص فرسایش‌ـ دهی روزانه بارندگی از فرمول زیر استفاده شده است .

$$EV_d = 16.64\,R_d - 173.82 \qquad (۵)$$

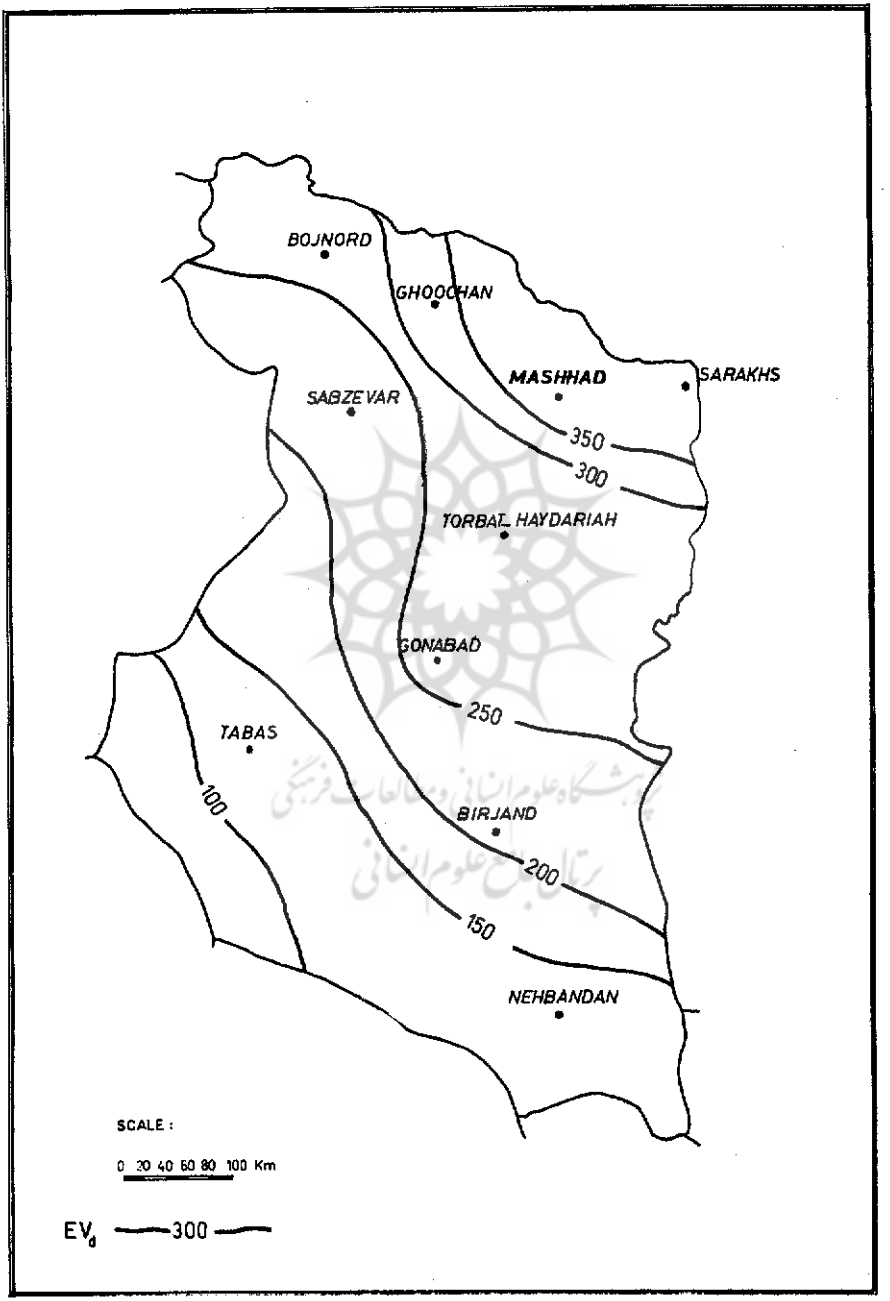
که EVd شاخص فرسایش‌دهی روزانه (Jm^{-2}) و R_d حداکثر بارش ۲۴ ساعته است (mm) . در رابطه باقدرت تخریبی باران که باتولید رسوب در رودخانه‌ها رابطهٔ نزدیکی دارد نسبت $\frac{p^2}{P}$ معمولاً مورد استفاده قرار گرفته است که p میانگین حداکثر بارش ماهانه و P میانگین سالانه بارندگی است(۷).

نقشه $\frac{p^2}{P}$ در استان خراسان براساس داده‌های موجود مطابق شکل (۳) می‌باشد. آزمایش نشان داده است که بین بافت حوضه‌ای آبریز و $\frac{p^2}{P}$ رابطه مستقیمی وجود دارد که می‌توان از آن در مدیریت آبخیزها استفاده کرد .

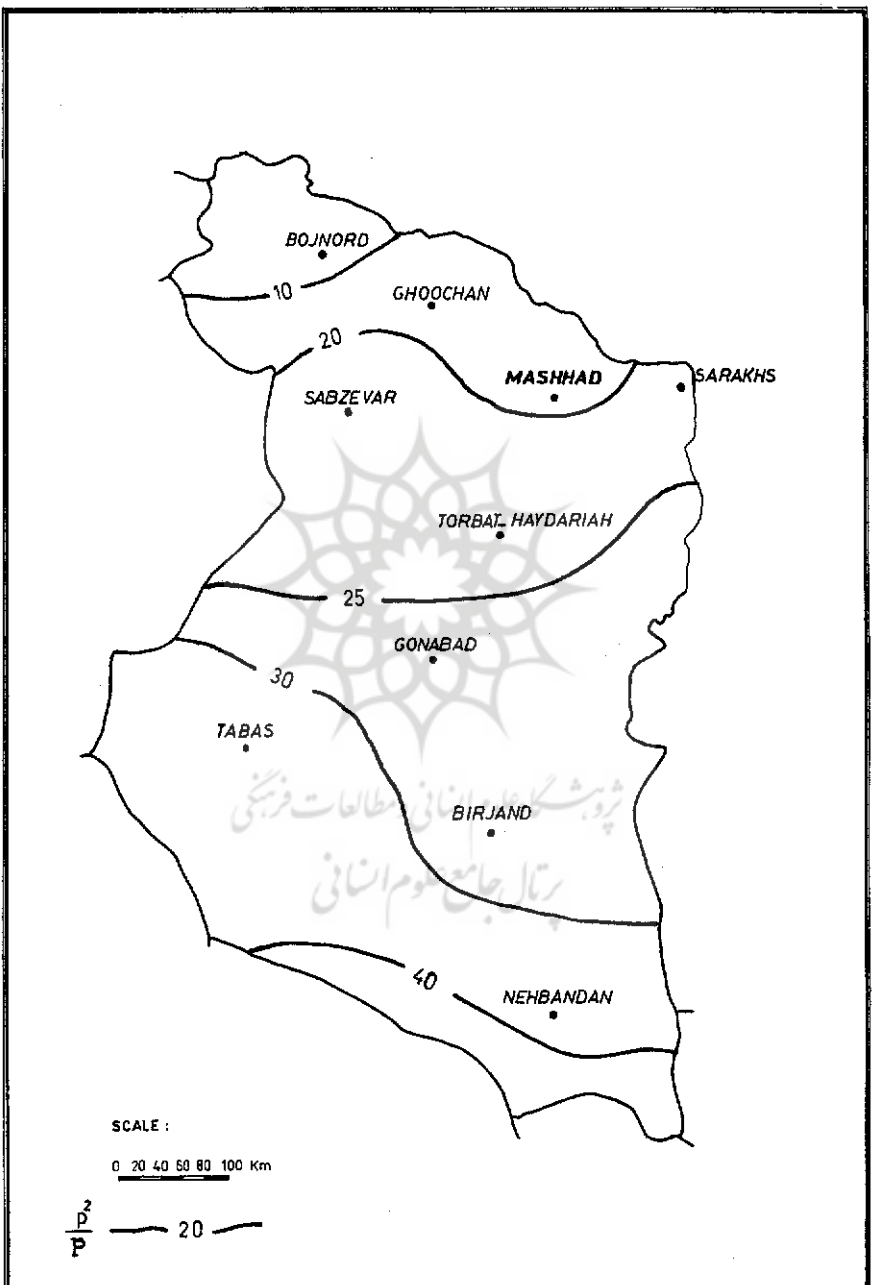
چنانچه نقشه‌های $\frac{p^2}{P}$ و فرسایش‌دهی را روی یکدیگر قرار دهیم تصویر مرکبی از خطر فرسایش در کل استان خراسان به دست می‌آید که می‌توان مناطق مختلف را برحسب خطر فرسایش تقسیم‌بندی کرد. عده‌ای از پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که از روی نقشه $\frac{p^2}{P}$ میزان



شکل ۱ منحنی های شاخص فرسایش بارندگی در استان خراسان



شکل ۲- منحنی های حداکثر شاخص فرسایش دهی روزانه در استان خراسان



شکل ۳- منحنی های قدرت تخریبی باران ، $\frac{P^2}{P}$ ، در استان خراسان

فرسایش Q_s برحسب $t\,km^{-2}\,y^{-1}$ از معادلات زیر به‌دست می‌آید (۷).

در مناطق کوهستانی $Q_s = 52.49 \frac{p^2}{P} - 513$

در مناطق پست $Q_s = 27.12 \frac{p^2}{P} - 475.40$

مشاهده می‌شود که دراستان خراسان میزان فرسایش بین۱۲و۱۶۰۰ متغیر است

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی