

تعیین شاخص فرساینده‌گی مناسب باران در اقلیم نیمه خشک سرد ایران، مطالعه موردی: استان کرمانشاه

محمد همتی^۱، دانش‌آموخته دکتری مهندسی آبخیزداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

داود نیک‌کامی، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

حسن احمدی، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

غلامرضا زهتابیان، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

محمد جعفری، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۰۲/۰۱

دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۰۹/۱۶

چکیده

خاک یکی از عناصر چهارگانه حیات و یکی از مهم‌ترین مولفه‌ها در فرآیند تولید محصولات زراعی، مرتعی و جنگلی محسوب می‌شود. فرسایش خاک، حاصل‌خیزی اراضی بالادست را تحت‌تاثیر قرار داده و به‌طور غیرمستقیم، اراضی پایین دست را نیز دچار آسیب می‌نماید. در یک نگاه جهانی نسبت به پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری، بیش از ۵۰٪ از اراضی مرتعی دنیا و در حدود ۸۰٪ از زمین‌های کشاورزی به‌طور معنی‌دار و قابل توجهی دچار فرسایش هستند. صرف‌نظر از اهمیت باران در کشاورزی (در مراحل اولیه فرسایش آبی)، نیروی فرساینده‌گی منتج از باران با کندن ذرات خاک و ایجاد رواناب سطحی، مهم‌ترین تاثیر را در پدیده فرسایش دارد. نیروی موثر در ایجاد این شکل از فرسایش، فرساینده‌گی باران است که در واقع توانایی بالقوه باران در ایجاد فرسایش بوده، تابعی از خصوصیات فیزیکی باران است. به‌منظور کمی‌نمودن تاثیر عامل فرساینده‌گی باران، شاخص‌های مختلفی توسعه داده شده‌اند؛ برخی از آن‌ها بر مقدار بارش و بعضی دیگر بر شدت بارش تاکید دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از یک شاخص خاص نظیر شاخص EI_{30} (در معادله USLE)، در همه نقاط اعتبار کافی نداشته و ضروری است تا با توجه به شرایط هر منطقه اقلیمی، بهترین شاخص فرساینده‌گی باران تعیین و استفاده شود. در این تحقیق، پس از احداث ۲۱ کرت رواناب و رسوب در حاشیه روستای کبوده‌علیا، از توابع شهر کرمانشاه، در دو کاربری کشت دیم آیش (شیب‌های ۶، ۱۲، ۱۶ و ۱۷ درصد) و مرتع (شیب‌های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد)، هر یک با سه تکرار، مقادیر روان‌آب و رسوب هر یک از کرت‌ها در ۱۵ واقعه بارش، که منجر به ایجاد رواناب و تلفات خاک شده بودند، پایش و اندازه‌گیری شدند. اطلاعات شدت و مقدار رگبارها نیز با استفاده از باران‌نگار ثابت دیجیتالی واقع در محل ایستگاه، ثبت و استفاده شد؛ سپس با توجه به مرور منابع گسترده در سطح جهان، نهایتاً ۴۵ شاخص فرساینده‌گی باران شناسایی شد. به‌لحاظ گستردگی تعداد شاخص‌های مورد بررسی و برای تسهیل و افزایش دقت محاسبه هر یک از شاخص‌های فرساینده‌گی باران، با تهیه یک برنامه کامپیوتری، هر یک از رگبارها تجزیه و تحلیل شده و پس از استخراج عوامل مورد نیاز، مقادیر هر یک از شاخص‌های فرساینده‌گی باران برای هر یک از رگبارها تعیین شد. در ادامه، به‌منظور تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی باران، مطالعات تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS بین هر یک از شاخص‌های فرساینده‌گی باران، و مقادیر تلفات خاک انجام شد. نتیجه حاکی از این بود که در منطقه موردتحقیق، شاخص فرساینده‌گی EI_{60} ، به‌عنوان بهترین شاخص فرساینده‌گی باران، بالاترین مقدار همبستگی و معنی‌داری مناسب را با مقادیر تلفات خاک داشته است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش پاشمانی، کاربری اراضی، کبوده‌علیا، کرت رواناب و رسوب، مقدار و شدت بارش

¹ moh_hemmati2051@yahoo.com

مقدمه

فرسایش خاک به‌عنوان یکی از مشکلات جدی منابع طبیعی، از طریق هدررفت فیزیکی خاک، کاهش عمق ریشه، آب قابل‌دسترس و ذخایر غذایی، موجب کاهش عمل‌کرد محصولات کشاورزی می‌شود. علاوه بر این با کاهش فقر مواد غذایی خاک، از کیفیت محصولات نیز کاسته می‌شود. طی دهه‌های اخیر، میزان فرسایش خاک در ایران افزایش چشم‌گیری یافته است؛ به‌طوری‌که در سال ۱۳۳۰، حدود ۵۰۰ میلیون تن، در سال ۱۳۴۰ حدود ۷۵۰ میلیون تن، در سال ۱۳۵۰ حدود یک میلیارد تن و در سال ۱۳۷۲، ۲ تا ۲/۲ میلیارد تن خاک، فرسایش داشته، از دسترس خارج شده است؛ این روند، رشدی معادل ۴۴۰ درصد را نشان می‌دهد. Yu (۱۹۹۸) بیان می‌دارد که در مقیاس جهانی نزدیک به دو میلیارد هکتار و یا در حدود ۱۳ درصد از سطح کره زمین در قبال تخریب‌های ناشی از اثرات منفی فعالیت‌های انسانی دچار مشکل شده و دلیل اصلی این تخریب، فرسایش آبی بوده است. Angima و همکاران (۲۰۰۳)، نیز با تحقیقاتی که در قاره افریقا انجام دادند، بیان داشتند که سالانه در افریقا حدود پنج تن درهکتار از خاک سطحی حاصل‌خیز دچار فرسایش شده و به سمت دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها شکل می‌گیرد.

به‌عقیده Chan و D'Odorich (۲۰۰۱)، فرسایش خاک یکی از عوامل موثر در فرآیند بیابان‌زایی مناطق نیمه‌خشک بوده و برداشت مواد مغذی خاک و تغییر در خواص ساختمانی آن باعث فرسایش شده است. در همین زمینه، خسارات ناشی از فرسایش بارانی (پاشمانی) و به‌تبع آن اهمیت آن به‌گونه‌ای است که باعث شده تا کارشناسان و محققین علوم فرسایش خاک، مطالعات پراکنده‌ای را در سطح دنیا انجام دهند.

در پژوهشی Neyssen و همکاران (۲۰۰۴)، اشاره داشتند که صرف‌نظر از اهمیت باران در کشاورزی (در مراحل اولیه فرسایش آبی)، نیروی فرساینده‌ی منتج از باران با کندن ذرات خاک و ایجاد رواناب سطحی، مهم‌ترین تاثیر را در پدیده فرسایش دارد. مهم‌ترین عامل فرسایش آبی، باران به‌طور اخص و شدت بارندگی به‌طور اعم است. در اغلب روش‌های تجربی، برآورد کمی و یا کیفی فرسایش آبی یکی از عوامل اصلی عامل فرساینده‌ی باران است. از آنجایی‌که سالانه در جهان بر تعداد معادله‌های تجربی برآورد فرسایش آبی و کاربرد آن‌ها در امور اجرایی مربوط به حفاظت خاک و آبخیزداری افزوده می‌شود، و از آن‌ها نیز با فاصله زمانی کم یا زیاد در ایران استفاده می‌شود، از این‌رو منطقی است که برای پرهیز از هرگونه دوباره‌کاری و انجام در تعیین عوامل مدل‌ها، روشی مبتنی بر شرایط حاکم بر حوزه‌های آبخیز ایران تبیین شود؛ چنین اقدامی منجر به رفع ابهامات و اختلاف نظرها در نحوه تعیین عوامل هر یک از مدل‌ها می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل، توان فرسایش باران است که برای تعیین آن، کارشناسان فعال روش‌های متعددی را دنبال کرده‌اند. برای حصول اطمینان در محاسبه این عامل اساسی، که در اکثر مدل‌ها دارای کاربرد است، ضرورت دارد روش‌های مختلف تعیین توان فرسایش باران، در ایران و در شرایط اقلیمی و آب و هوایی مختلف ارزیابی شود.

اگر سایر خصوصیات موثر بر فرسایش، ثابت در نظر گرفته شود، میزان تلفات خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده‌ی باران خواهد بود. تصادم قطرات باران با زمین، مهم‌ترین عامل جداکننده ذرات خاک است در شرایط طبیعی، فرسایش به ترکیبی از قدرت باران در ایجاد فرسایش و نیز توانایی خاک در تحمل باران بستگی دارد؛ به‌عبارتی فرسایش، تابعی از فرساینده‌ی (Erosivity) برای باران و فرسایش‌پذیری (Erodibility) برای خاک است. بنابراین، بخش قابل‌ملاحظه‌ای از تلفات خاک در حوزه‌های آبخیز مربوط به انرژی فرساینده ناشی از ضربه قطرات باران است که اصطلاحاً به آن فرسایش قطره بارانی یا فرسایش پاشمانی (Splash erosion) گفته می‌شود.

به‌عقیده Nyssen و همکاران (۲۰۰۴) فرساینده‌ی باران، تابعی از ویژگی‌های فیزیکی بارش است؛ این ویژگی‌ها مشتمل بر عمق بارش، توزیع اندازه ذرات، سرعت حد ریزش قطرات باران، سرعت باد و ماهیت بارش هستند. برای کمی نمودن تاثیر عامل فرساینده‌ی باران، شاخص‌های مختلفی توسعه داده شده‌اند؛ بعضی از آن‌ها بر مقدار بارش و برخی دیگر بر شدت بارش تاکید داشته‌اند؛ مثلاً می‌توان به شاخص‌های Fournier اصلاح شده برای مراکش (Arnoldus, ۱۹۷۷)، EI_{30} برای غرب میانه آمریکا (Brown و Foster, ۱۹۸۷؛ Smit و Wischmeier, ۱۹۷۸)، $KE > 1$ برای جنوب افریقا (هادسون, ۱۳۷۲) و AI_m (Lal, ۱۹۷۶) برای نیجریه (A برابر مقدار بارندگی و I_m معادل حداکثر شدت بارندگی در پایه زمانی ۷/۵ دقیقه‌ای است) اشاره نمود. از بین شاخص‌های موجود، شاخص EI_{30} یا

R بیش از سایر شاخص‌ها برای برآورد فرساینده‌گی باران در دنیا به کار رفته است (Hoyos و همکاران، ۲۰۰۵). این شاخص‌ها با توجه به منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه‌گیری متفاوت هستند؛ بنابراین در حال حاضر نمی‌توان هیچ شاخصی را بهتر از شاخص‌های دیگر دانست و از آن به‌عنوان شاخص جهانی فرساینده‌گی باران یاد کرد (Renard و Freimund، ۱۹۹۴). به‌طور کلی شاخص‌های فرساینده‌گی باران را می‌توان در قالب دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی، و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی تقسیم‌بندی کرد. از معروف‌ترین شاخص‌های گروه اول می‌توان به EI_{30} (Smith و Wischmeier، ۱۹۷۸)، AI_m (Lal، ۱۹۷۶)، $KE > 1$ (هادسون، ۱۳۷۲)، $\frac{P}{\sqrt{t}}$ (Onchev، ۱۹۸۵) اشاره کرد و مهم‌ترین شاخص‌هایی گروه دوم $\frac{P_{max}}{P}$ و $\frac{P_x^2}{P}$ (Arnoldus، ۱۹۷۷) هستند.

هدف اصلی این پژوهش تعیین شاخص فرساینده‌گی مناسب باران برای منطقه جغرافیایی استان کرمانشاه است که یکی از اقلیم نیمه خشک سرد ایران محسوب می‌شود؛ به‌همین منظور، در وهله نخست با بررسی ایستگاه‌های تحقیقات حفاظت خاک در سطح کشور و ارائه پیش‌فرض‌هایی، سرانجام ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک روستای کبوده‌علیا در استان کرمانشاه به‌عنوان یکی از مناطق مناسب، انتخاب گردید. وجود عرصه بلامنازع برای احداث و ایجاد کرت‌های آزمایشی، وجود کرت‌های رواناب و رسوب در کاربری‌ها و شیب‌های مختلف از اراضی، همگن بودن خاک منطقه، رعایت اصول صحیح جمع‌آوری رواناب و اندازه‌گیری تلفات خاک بعد از هر واقعه بارش، ثبت اطلاعات رگبارها با تاکید بر ثبت مقادیر شدت رگبارها برای پایه‌های زمانی کوتاه مدت، دسترسی به جاده اصلی، امنیت محلی برای نگهداری از کرت‌ها و تجهیزات مربوطه در طول دوره اجرای طرح، از جمله نکاتی بودند که در انتخاب نهایی این ایستگاه مد نظر قرار گرفتند.

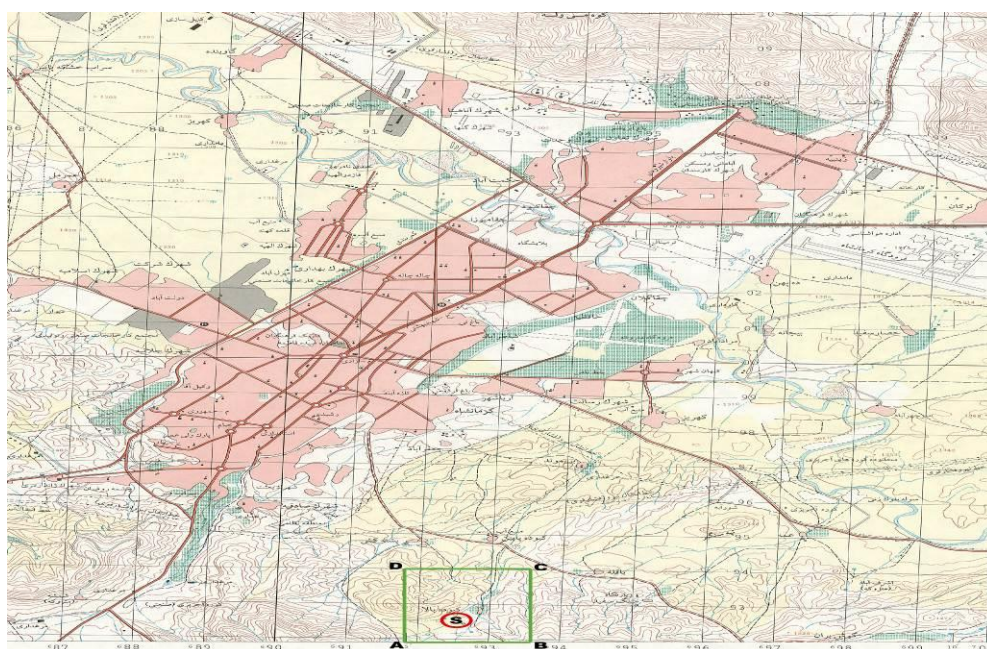
مواد و روش‌ها

ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک روستای کبوده‌علیا در سال ۱۳۸۲ از سوی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، در راستای اجرای طرح تحقیقاتی واسنجی مدل فرسایش و رسوب WEPP ایجاد، و به‌همین منظور شبکه‌ای از کرت‌های رواناب و رسوب در کاربری‌های مختلف و شیب‌های مختلف احداث گردید. این ایستگاه تحقیقاتی، در واقع بخشی از حوزه آبخیز رودخانه قره‌سو است که در ۱۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر کرمانشاه، در مجاورت روستای کبوده‌علیا و بر روی نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح با نام کرمانشاه قرار دارد. ایستگاه مزبور، در دشت درود فرامان در حاشیه اراضی کشاورزی و مراتع حریم روستای کبوده‌علیا واقع بوده و ویژگی شاخص آن عمدتاً نزدیکی آن به شهر کرمانشاه و امکان پایش مناسب کرت‌ها و ثبت داده‌های رواناب، رسوب و بارش است. ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده‌علیا، در مختصات جغرافیایی ۴۷ ۰۵ طول شرقی و ۳۴ ۱۵ عرض شمالی واقع شده است. حداقل ارتفاع و حداکثر ارتفاع موجود در این ایستگاه، معادل ۱۵۰۰ و ۱۷۵۰ متر از سطح دریا بوده و ارتفاع متوسط وزنی موجود آن ۱۵۴۰ متر است. شکل ۱، نقشه توپوگرافی موقعیت استقرار ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده‌علیا را در مجاورت شهر کرمانشاه نشان می‌دهد.

وضعیت اقلیمی محدوده موردتحقیق در اقلیم نمای آمبرژه، نیمه‌خشک سرد تعیین گردیده و میانگین بارندگی آن، با توجه به ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کرمانشاه، که در فاصله کم‌تر از پنج کیلومتری این منطقه واقع شده است، طی یک دوره ۳۹ ساله از سال آبی ۱۳۴۵-۱۳۴۶ منتهی به سال آبی ۱۳۸۳-۱۳۸۴، حدود ۴۶۵ میلی‌متر است. رژیم بارش‌ها، مدیترانه‌ای بوده، به‌طوری‌که شروع فعالیت‌های سیکلون‌های مدیترانه‌ای از اوایل پاییز شروع شده و تا اواسط بهار ادامه می‌یابد. توزیع بارش متوسط سالانه، به‌گونه‌ای است که درصد فصلی آن در فصل بهار ۱۹/۶۱٪، زمستان ۴۶/۲۸ درصد، پاییز ۳۳/۵۴ درصد و تابستان ۰/۵۷ درصد است. به‌لحاظ زمین‌چینه‌شناسی، سنگ‌های موجود در این محدوده متعلق به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی بوده و در میان همه آن‌ها، تیپ لیتولوژیکی سنگ‌های آهکی،

شاخص‌ترین است. در طبقه‌بندی فیزیوگرافی اراضی، محدوده این ایستگاه تحقیقاتی شامل دو تیپ اصلی تپه‌ها و دشت‌های دامنه‌ای است. در خصوص روش کار و رسیدن به هدف نهایی تحقیق، مراحل زیر به ترتیب انجام شد:

- ۱- تعیین مقادیر رواناب و رسوب ناشی از هر واقعه بارش
- ۲- طبقه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌گی باران
- ۳- معرفی شاخص‌های جدید فرساینده‌گی باران
- ۴- تشریح چگونگی محاسبه و برآورد هر یک از شاخص‌های فرساینده‌گی باران
- ۵- ثبت اطلاعات مربوط به مقدار، شدت و مدت رگبارها
- ۶- تجزیه و تحلیل رگبارها به منظور استخراج پارامترهای مورد نیاز
- ۷- تعیین شاخص‌های فرساینده‌گی باران اشاره شده
- ۸- آنالیزهای آماری و بررسی روابط همبستگی میان تلفات خاک و شاخص‌های فرساینده‌گی باران برای معرفی بهترین شاخص فرساینده‌گی باران



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده علیا نسبت به شهر کرمانشاه

تعیین مقادیر رواناب و رسوب ناشی از هر واقعه بارش: برای تعیین مقادیر رواناب و رسوب ناشی از هر رگبار، کرت‌های رواناب و رسوب در دو نوع کاربری مهم، یعنی کاربری مرتع و کاربری زمین‌های کشاورزی دیم و آیش، در شیب‌های ۶، ۱۲، ۱۶، ۱۷، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد احداث شدند. در کاربری دیم‌زارهای منطقه، کرت‌ها در شیب‌های ۶، ۱۲، ۱۶ و ۱۷ درصد و در خصوص مراتع موجود، کرت‌ها بر روی شیب‌های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد هر یک با سه تکرار احداث شد؛ علت انتخاب این طیف از شیب اراضی، عمدتاً تمرکز عملیات کشاورزی این منطقه بر روی شیب‌های گروه اول و نیز وجود عرصه‌های مرتعی در شیب‌های بالاتر بوده است. بدین ترتیب، تصویر نسبتاً دقیقی از دو عامل مهم و تاثیرگذار در فرسایش خاک، یعنی کاربری اراضی و شیب در نظر گرفته شد؛ بنابراین در کل، ۲۱ کرت رواناب - رسوب تعیین شد. برای احداث کرت‌ها از ورقه‌های گالوانیزه ضخیم با مقاومت بالا استفاده شد و تا عمق ۲۰ سانتی‌متری در زمین کوبیده و ارتفاع لبه آن‌ها از سطح خاک نیز ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد؛ این کرت‌ها در ابعاد ۳×۱۰ متر ساخته شدند؛ از این رو سطح هر یک از کرت‌ها ۳۰ متر مربع و سطح کل آن‌ها به‌ازای ۲۱ کرت موجود، ۶۲۰ متر مربع تعیین شد.

برای جمع‌آوری رواناب و رسوب در داخل آن، از بشکه‌های ۲۲۰ لیتری و سطل‌های پلاستیکی استفاده شد؛ نحوه استفاده به این شکل بود که در داخل هر یک از بشکه‌های ۲۲۰ لیتری، یک سطل پلاستیکی کوچک‌تر برای لوله نازل رواناب و رسوب قرار داده شد؛ به طوری که رواناب و رسوب تولیدی مستقیماً در داخل سطل پلاستیکی ریخته می‌شد. نحوه استفاده از اراضی در کرت‌های زراعت دیم، به گونه‌ای بود که در طول دو سال از شروع طرح، در سال اول، کلیه این کرت‌ها تحت زراعت دیم گندم و جو، و در سال دوم تحت آیش قرار گرفتند. در طول مدت طرح، ۱۵ رگبار منجر به تولید رواناب و رسوب ثبت و ارزیابی شد.

به منظور تعیین حجم رواناب‌ها بعد از هر واقعه بارش، با استفاده از خط‌کش، ارتفاع رواناب جمع شده قرائت شد و سپس با استفاده از رابطه تعیین حجم اجسام استوانه‌ای شکل (مخزن ذخیره رواناب و رسوب)، حجم رواناب هر واقعه بارش تعیین گردید؛ در مرحله بعد، برای تعیین مقدار تلفات خاک، بعد از تخلیه رواناب، محتویات ته سطل پلاستیکی به یک بشر بزرگ ریخته شد و از آنجا به آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه انتقال داده شد. در ادامه وزن نمونه تعیین شد و سپس به مدت سه ساعت تا خشک شدن کامل نمونه در داخل آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، بعد از خشک شدن کامل، هر یک از نمونه‌ها مجدداً توزین شدند؛ سپس اختلاف دو قرائت به عنوان غلظت وزن رسوب در نظر گرفته شد و با توجه به مشخص بودن حجم رواناب هر واقعه بارش و نیز غلظت هر نمونه، وزن رسوب یا تلفات خاک محاسبه گردید. جدول ۱، نمونه‌ای از نتایج اندازه‌گیری رواناب و رسوب وقایع بارندگی‌های آیش شده را در کاربری دیم- آیش در شیب شش درصد نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری مقادیر حجم رواناب و میانگین وزن رسوب در کرت‌های آزمایشی ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبودعلیا کرمانشاه تیمار زراعت دیم - آیش (شیب شش درصد)

ردیف	تاریخ رگبار	مقدار رگبار (mm)	شماره کرت/ حجم رواناب (L)			شماره کرت/ وزن رسوب (gr)		
			۱	۲	۳	۱	۲	۳
۱	۸۳/۸/۲۷	۸/۶۳	۳۱/۰۷	۳۸/۸۴	۲۳/۳۰	۱/۲۴	۱/۷۵	۱/۵۱
۲	۸۳/۹/۱۸	۹/۷۶	۴۰/۹۹	۲۹/۲۸	۳۲/۲۱	۱/۴۳	۱/۱۷	۱/۲۹
۳	۸۳/۱۰/۵	۲۲/۱۸	۹۳/۱۶	۹۹/۸۱	۸۳/۱۸	۵/۵۹	۶/۴۹	۵/۸۲
۴	۸۳/۱۱/۱۳	۱۱/۸۵	۵۳/۳۳	۵۶/۸۸	۶۳/۹۹	۹/۰۷	۱۰/۲۴	۱۶/۰۰
۵	۸۳/۱۱/۱۹	۲۲/۰۴	۱۱۲/۴۰	۱۳۲/۲۴	۱۳۸/۸۵	۲۵/۸۵	۳۳/۰۶	۲۶/۳۸
۶	۸۳/۱۲/۱۴	۴۰	۲۱۶/۰۰	۲۰۴/۰۰	۱۸۰/۰۰	۲۲۰/۳۲	۲۳۴/۶	۲۳۰/۴
۷	۸۳/۱۲/۲۱	۱۶/۵۷	۸۴/۵۱	۷۴/۵۷	۶۹/۵۹	۹/۳۰	۷/۸۳	۶/۲۶
۸	۸۴/۲/۲۴	۸/۶۷	۳۶/۴۱	۳۱/۲۱	۳۳/۸۱	۰/۱۱	۲/۸۱	۳/۳۸
۹	۸۴/۷/۹	۸/۴۳	۳۶/۶۷	۴۲/۹۹	۳۲/۸۸	۲/۲۰	۳/۲۲	۲/۶۳
۱۰	۸۴/۸/۱۳	۱۲/۰۲	۵۷/۷۰	۴۶/۸۸	۵۴/۰۹	۵/۸۸	۳/۹۸	۴/۸۷
۱۱	۸۴/۱۰/۲	۲۷/۲	۸۹/۷۶	۷۳/۴۴	۶۵/۲۸	۲۶/۰۳	۲۵/۷۰	۲۴/۸۱
۱۲	۸۴/۱۱/۵	۳۱/۰۸	۱۱۱/۸۹	۱۱۱/۸۹	۱۲۱/۲۱	۳۵/۸۰	۴۲/۵۲	۴۹/۷۰
۱۳	۸۴/۱۲/۱۷	۱۲/۳۶	۶۳/۰۴	۶۶/۷۴	۵۵/۶۲	۹/۴۶	۸/۰۱	۶/۴۰
۱۴	۸۵/۱/۸	۳۷/۱۶	۱۱۷/۰۵	۱۳۳/۷۸	۱۳۴/۶۹	۱۳۴/۶۱	۱۵۱/۱۷	۱۶۹/۸۱
۱۵	۸۵/۱/۲۸	۱۳/۳۹	۳۲/۱۴	۲۸/۱۲	۳۴/۱۴	۸/۶۸	۹/۰۰	۱۱/۹۵

طبقه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌گی باران: در یک دیدگاه کلی، شاخص‌های فرساینده‌گی باران را می‌توان در قالب دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی تقسیم‌بندی کرد؛ اما با رویکردی دقیق‌تر، در پاره‌ای از موارد مشاهده می‌شود که شاخص‌هایی وجود دارند که از هر دو

عامل شدت بارش و مقدار بارش استفاده کرده‌اند؛ بنابراین، در ادامه و بر این اساس، تقسیم‌بندی زیر ارائه شده است. لازم به ذکر است که این تقسیم‌بندی، به این شکل، در هیچ یک از منابع بررسی شده مشاهده نشده و صرفاً محاصل مطالعات همه‌جانبه و متکی بر مرور منابع گسترده این تحقیق است.

در طبقه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌گی باران گروه‌های زیر قابل تفکیک و ارائه هستند،

۱. شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی
۲. شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی رگبار
۳. شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی و انرژی جنبشی باران
۴. شاخص‌های مبتنی بر مقدار بارندگی
۵. شاخص‌های مبتنی بر مقدار و شدت بارندگی
۶. شاخص‌های مبتنی بر شدت و مدت بارندگی
۷. شاخص‌های مبتنی بر قطر و سرعت سقوط قطرات
۸. شاخص‌های جدید فرساینده‌گی باران

شاخص‌های فرساینده‌گی گروه اول، شاخص‌هایی هستند که بر پایه حداکثر شدت بارش در دوره‌های زمانی مختلف ($I_{\max 5}$ ، $I_{\max 10}$ ، $I_{\max 15}$ ، $I_{\max 30}$ ، $I_{\max 60}$ ، $I_{\max 120}$) و یا شدت متوسط رگبار، نظیر مواردی چون، شاخص Roose یا $I^{1.5}$ و شاخص Nearing یا I^2 تعریف شده‌اند و واحد این شاخص‌ها، میلی‌متر بر ساعت است. شاخص‌های گروه دوم، خود دو دسته هستند: دسته اول مستقیماً و صرفاً بر اساس استفاده از مقادیر انرژی جنبشی یا KE تعریف شده‌اند، و دسته دوم علاوه بر استفاده از مقادیر انرژی جنبشی، با اعمال مقادیر حدی برای شدت رگبارها، شاخص‌های جدیدی را مطرح کرده‌اند.

در این تحقیق، از شاخص‌های گروه اول، مقدار انرژی جنبشی بر اساس روش‌های ارائه شده Palmer و Marshal (۱۹۴۸)، Wischmeier و Smith (۱۹۷۸)، Zanchi و Torri (۱۹۸۰)، Kinnell (۱۹۸۱)، Onaga و همکاران (Brandt، ۱۹۹۰)، Cutinho و Tomas (۱۹۹۵)، Cerro و همکاران (Jayawardena و Rezaur، ۲۰۰۰) و Alizadeh (۲۰۰۹) در ردیف‌های ۹ تا ۱۸ شاخص‌های فرساینده‌گی (جدول ۲) تعیین شدند. از دسته دوم این گروه نیز، شاخص‌هایی نظیر شاخص فرساینده‌گی $KE > 25$ (Hudson، ۱۹۷۱) و نیز شاخص $KE > 10$ (Morgan، ۱۹۹۵) انتخاب و استفاده شد که واحد آن‌ها برابر ژول بر متر مربع است.

برای محاسبه شاخص‌های فرساینده‌گی گروه سوم که مبتنی بر استفاده توأم شدت بارندگی و انرژی جنبشی باران هستند، از حاصل ضرب مقدار انرژی جنبشی هر رگبار در شدت حداکثر رگبار در پایه‌های زمانی مختلف استفاده شد؛ شاخص‌های EI_5 ، EI_{10} ، EI_{15} ، EI_{30} ، EI_{60} و EI_{120} در این گروه قرار دارند و واحد آن‌ها نیز معادل ژول میلی‌متر بر متر مربع بر ساعت است.

برای شاخص‌های فرساینده‌گی گروه چهارم، که مبتنی بر مقدار بارندگی هستند از میان شاخص‌هایی نظیر شاخص Fournieh ($\frac{P^2}{P}$)، شاخص Arnoldus ($\frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P}$)، شاخص مقدار ارتفاع بارندگی (A)، شاخص حداکثر بارندگی ۶ ساعته با دوره برگشت ۲ ساله ($P_{6\max}$)، صرفاً شاخص مقدار ارتفاع بارش (A) انتخاب و تعیین گردید. علت عدم استفاده از شاخص‌های Fournieh، Arnoldus و شاخص $P_{6\max}$ ، ضرورت وجود آمار بلند مدت بارش بود، که با توجه به دوره آماربرداری موجود، عملاً امکان استفاده از آن‌ها میسر نگردید. شاخص‌های فرساینده‌گی گروه پنجم، شاخص‌هایی هستند که بر پایه دو عامل مقدار و شدت بارندگی تعریف و توصیه شده‌اند. در این تحقیق از این گروه، شاخص‌های AI_m یا همان شاخص Lal (برابر با حاصل ضرب مقدار بارندگی هر باران بر حسب میلی‌متر در حداکثر شدت بارندگی ۷/۵ دقیقه‌ای بارندگی مربوطه (I_m) بر حسب میلی‌متر در ساعت)، شاخص P_{20} که برابر با مقدار بارش اتفاق افتاده به‌ازای حداکثر شدت ۲۰ دقیقه‌ای رگبار، شاخص‌های فرساینده‌گی R_{20} ، R_{30} و R_{10} یا همان شاخص‌های Stanescu (تیپ اول، دوم و سوم) که برابر با حاصل ضرب حداکثر شدت‌های بارش ۳۰، ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای در

مجموع حاصل ضرب مقدار بارش‌های جزئی (بارش در پایه‌های زمانی ۱۰ دقیقه) در شدت‌های متناظر مربوطه است، استفاده گردید.

از شاخص‌های گروه ششم، که مبتنی بر استفاده از شدت و مدت بارندگی هستند، شاخص Onchev ($R' = \frac{P}{\sqrt{t}}$) در

این شاخص P مقدار بارش بیش‌تر از ۹/۵ میلی‌متر و با شدت بیش‌تر از ۰/۱۸ میلی‌متر در دقیقه و t مدت زمانی است که بارش با شرایط فوق باریده است)، مورد بررسی قرار گرفت که در رگبارهای حادث شده، هیچ‌یک حائز این شرط نشدند. از شاخص‌های گروه هفتم نیز، شاخص‌های فرساینده‌گی Riezebosa و Epema (۱۹۸۵) تیپ اول و دوم ($\frac{KE}{d}$ و $\frac{KE}{d^2}$) انتخاب شدند؛ در این دو شاخص، KE انرژی جنبشی کل رگبار و d نیز قطر میانه ذرات است.

در بخش آخر نیز، تعداد ۱۱ شاخص دیگر بر اساس جمع‌بندی نتایج مرور منابع و احتمالات دیگر معرفی شدند تا عملکرد و کارایی آن‌ها در تناسب با میزان تلفات خاک بررسی شود. شاخص‌های $KE > 1$ ، $KE > 2.5$ ، $KE > 5$ ، $\sqrt{A.T}$ ، AI_{30}^2 ، AI_{30} ، $A\sqrt{I_{30}}$ ، $\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$ ، $KE.d$ ، $KE.d^2$ و $KE\sqrt{d}$ آن‌هایی بودند که

مورد استفاده قرار گرفتند. در این شاخص‌ها KE ، A ، T ، I_{30} و d به ترتیب مقادیر انرژی جنبشی بارش، مقدار بارش، زمان رگبار بر حسب دقیقه، حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای و قطر میانه ذرات بر حسب میلی‌متر هستند.

ثبت اطلاعات مقدار، شدت و مدت رگبارها: در این مرحله، با پایش مقادیر رواناب و رسوب کرت‌ها، اطلاعات شدت رگبارها با استفاده از یک دستگاه باران‌نگار مجهز به ثبت رقومی (Data Logger) ثبت و اطلاعات رگبارهای ثبت شده در حافظه دستگاه به رایانه منتقل شد. تنظیمات باران‌نگار موجود در این ایستگاه به گونه‌ای بود که به‌ازای هر ۰/۱ میلی‌متر بارش، یک مورد ثبت زمان را به‌همراه داشت و بدین ترتیب، به‌طور مثال، برای یک بارش ۱۵ میلی‌متری، ۱۵۰ مورد ثبت ارتفاع بارش وجود داشت.

تجزیه و تحلیل رگبارها برای استخراج پارامترهای مورد نیاز: به‌منظور تعیین شدت‌های حداکثر بارش در پایه‌های زمانی مختلف، به مقادیر ارتفاع بارش در هر دقیقه از رگبار نیاز بود. اطلاعات باران‌نگارها به‌علت ثبت تراکمی مقادیر بارش، به‌تنهایی قادر به پاسخ نیازهای این بخش هستند، لذا با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Visual Basic در محیط نرم افزار Excel، برنامه‌ای تهیه شد تا با انجام عمل درون‌یابی (Interpolation)، مقدار بارش به‌ازای هر دقیقه از زمان تعیین شود؛ این برنامه به‌گونه‌ای طراحی شد تا پس از اجرا، اطلاعاتی از بارش، نظیر تاریخ شروع، زمان شروع، زمان خاتمه، مدت بارش، مقدار بارش و نیز جدول مقادیر جزئی زمان-بارش را مشخص سازد. همچنین با استفاده از قابلیت معادله‌نویسی در محیط نرم‌افزار Excel، مقدار حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف محاسبه و ارائه شد. این محاسبات، عملاً ملاک بررسی‌های بعدی واقع شد.

تعیین شاخص‌های فرساینده‌گی باران: با توجه به ماهیت هر شاخص و عوامل موثر در برآورد آن و با استفاده از اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل هر یک از رگبارها، درنهایت ۴۵ شاخص فرساینده‌گی باران برای هر رگبار تعیین و برآورد گردید؛ نمونه یکی از نتایج برآوردها، مربوط به رگبار مورخ ۸۴/۱۱/۵، در جدول ۲ آورده شده است.

روابط همبستگی تلفات خاک و شاخص‌های فرساینده‌گی باران: در میان پارامترهای موجود، تلفات خاک یک متغیر وابسته بوده و شاخص‌های فرساینده‌گی متغیرهای مستقلی هستند که یکی از آن‌ها بالاترین همبستگی را با عامل وابسته نشان خواهد داد؛ بنابراین برای تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی باران، تعیین مقادیر ضرایب همبستگی بین مقدار شاخص فرساینده‌گی و مقدار تلفات خاک متناظر آن الزامی است. برای این منظور، با استفاده از نرم افزار SPSS، مقادیر ضرایب همبستگی و سطح معنی‌داری هر یک تعیین گردید. جدول ۳، نتایج به‌دست آمده را برای کلیه شاخص‌های فرساینده‌گی مورد تحقیق نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در میان ۴۵ شاخص فرساینده‌گی مورد تحقیق، شاخص فرساینده‌گی EI_{60} با ضریب همبستگی ۰/۷۲۱، و سطح احتمال معنی‌داری ۱۰۰ درصد، در میان سایر شاخص‌ها از بالاترین مقدار همبستگی برخوردار است و باید آن را بهترین شاخص فرساینده‌گی برای این منطقه دانست. بررسی روند موجود در میان مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که شاخص‌های صرفاً مبتنی بر مقدار شدت حداکثر بارش، در پایه‌های زمانی مختلف (شاخص‌های ۱ تا ۶ مندرج در صفحه ۷)، همبستگی‌های ضعیفی با مقدار تلفات خاک دارند. با تغییر نوع شاخص‌ها از شاخص‌های گروه قبلی به شاخص‌های مبتنی بر مقدار انرژی جنبشی بارش به تنهایی (KE_1 تا KE_{10})، افزایش قابل توجهی در مقدار ضریب همبستگی دیده می‌شود؛ به گونه‌ای که حداکثر آن مربوط به شاخص فرساینده‌گی KE_{10} با مقدار انرژی جنبشی بر اساس رابطه ارائه شده به وسیله‌ی علیزاده با مقدار ۰/۶۷۴ و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ است. در حالی که در شاخص‌های گروه اول، یعنی شاخص‌های مبتنی بر مقدار شدت حداکثر بارش در پایه‌های زمانی مختلف (I_{max5} تا I_{max120})، حداکثر ضریب همبستگی، مربوط به شاخص فرساینده‌گی I_{max120} با ضریب همبستگی ۰/۵۹۱ و سطح معنی‌دار ۰/۰۰۱ است. اما نکته قابل توجه این است که به محض ورود همزمان مقدار انرژی جنبشی رگبار و یکی از شدت‌های حداکثر بارش در پایه‌های زمانی مختلف، شاهد روند رو به رشد همبستگی‌ها هستیم؛ این امر در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک روستای کبوده‌علیا شرایطی را فراهم کرد تا شاخص EI_{60} به عنوان بهترین شاخص در نظر گرفته شود؛ این مسئله خود تأییدی بر نتایج تحقیقات انجام یافته به وسیله‌ی $Smith$ و $Wischmeier$ (۱۹۷۸) است؛ زیرا آنان نیز اعلام کردند که با ورود مقدار انرژی جنبشی رگبار در کنار مقدار شدت حداکثر بارش، وضعیت همبستگی‌ها بهتر می‌شود. تنها تفاوت موجود در اینجا، مربوط به پایه زمانی حداکثر شدت رگبار است؛ به طوری که برای منطقه کرمانشاه، اثر شدت حداکثر ۶۰ دقیقه‌ای به مراتب بیش‌تر از تاثیر حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای، بر اساس آنچه که $Smith$ و $Wischmeier$ بیان داشته بودند، است.

در خصوص بررسی بخش فرساینده و غیره فرساینده رگبارها نیز، بررسی شاخص‌های $KE > 1$ ، $KE > 2.5$ ، $KE > 5$ نشان می‌دهد که روند صعودی همبستگی میان تلفات خاک و مقادیر حدی انرژی جنبشی، به گونه‌ای است که از حد آستانه شدت یک میلی‌متر در ساعت، تا شدت ۲/۵ میلی‌متر در ساعت، مقدار همبستگی افزایش یافته و پس از آن، در حد شدت پنج میلی‌متر در ساعت، مقدار همبستگی کاهش پیدا می‌کند؛ بنابراین می‌توان بیان داشت که شدت‌های مساوی و بیش‌تر از ۲/۵ میلی‌متر در ساعت، بیش‌ترین تاثیر را در تلفات خاک این منطقه دارند؛ این امر به معنای نفی تاثیر مقادیر شدت‌های بیش‌تر از یک میلی‌متر در ساعت و یا شدت‌های بیش‌تر از پنج میلی‌متر در ساعت نیست؛ بلکه می‌توان این گونه استنباط نمود که بیش‌ترین تاثیر مربوط به مقادیر، بیش‌تر از حد آستانه ۲/۵ میلی‌متر در ساعت است. چگونگی بروز چنین رابطه‌ای تا حدود زیادی مرتبط با وضعیت رگبارهای منطقه، و به بیان دیگر مربوط به الگوی بارش این منطقه است؛ به گونه‌ای که در تعامل شرایط خاک و پوشش سطحی با رفتار فرساینده غالب رگبارهای این منطقه، بیش‌ترین تلفات خاک در دامنه شدت ۲/۵ میلی‌متر در ساعت تا پنج میلی‌متر در ساعت روی می‌دهد.

در اکثر رگبارها، بازه‌های با شدت بیش‌تر از پنج میلی‌متر در ساعت، فراوانی کم‌تری داشته و عمده فرسایش، با توجه به شرایط سطحی اراضی این منطقه در همان شدت‌های متوسط اتفاق می‌افتد. درباره شاخص‌هایی نیز که مبتنی بر استفاده از پارامترهای مقدار بارش و شدت بارش به طور هم‌زمان هستند، کارکرد ضرایب همبستگی در حد قابل قبول و مناسبی است؛ اما باز هم شاخص‌های این گروه، مقادیر همبستگی کم‌تری نسبت به شاخص EI_{60} دارند. شاخص‌های گروه آخر، که متاثر از استفاده توأم انرژی جنبشی بارش و قطر میانه ذرات بارش هستند؛ نیز دارای همبستگی‌های خوبی هستند، اما در اینجا نیز هم حداکثر ضریب همبستگی موجود، که مربوط به شاخص $KE.d$ با ضریب همبستگی ۰/۶۸۸ بوده، به مراتب کم‌تر از ضریب همبستگی مربوط به شاخص ترکیبی EI_{60} است.

جدول ۲- نتایج محاسبات شاخص های فرسایشی باران برای رگزار مورخ ۱۳۸۴/۱۱/۰۵ ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبودعلیا

واحد	مقدار	نماد شاخص	ردیف	واحد	مقدار	نماد شاخص	ردیف	واحد	مقدار	نماد شاخص	ردیف
$mm^3.h^{-2}$	۳۶۴۷/۹۴	R_{20}	۳۱	$J.m^{-2}$	۶۸۰/۸۶	KE_8	۱۶	$mm.h^{-1}$	۲۱/۱۲	I_{max5}	۱
$mm^3.h^{-2}$	۵۳۲۷/۳۳	R_{10}	۳۲	$J.m^{-2}$	۳۷۷/۵۲	KE_9	۱۷	$mm.h^{-1}$	۲۰/۴	I_{max10}	۲
$J.m^{-2}.mm^{-2}$	۸۹/۵۷	$\frac{KE}{d^2}$	۳۳	$J.m^{-2}$	۵۲۸/۵۷	KE_{10}	۱۸	$mm.h^{-1}$	۱۸/۷۴	I_{max15}	۳
$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۲۲۷/۲۱	$\frac{KE}{d}$	۳۴	$J.m^{-2}$.	$KE > 25$	۱۹	$mm.h^{-1}$	۱۱/۴	I_{max30}	۴
$J.m^{-2}$	۵۶۵/۰۱	$KE > 1$	۳۵	$J.m^{-2}$	۲۶۱/۴۷	$KE > 10$	۲۰	$mm.h^{-1}$	۹/۸	I_{max60}	۵
$J.m^{-2}$	۴۸۲/۴۵	$KE > 2.5$	۳۶	$J.mm.m^{-2}.h^{-1}$	۱۲۱۷۷/۶۲	EI_5	۲۱	$mm.h^{-1}$	۸/۶۷	I_{max120}	۶
$J.m^{-2}$	۴۲۷/۲۱	$KE > 5$	۳۷	$J.mm.m^{-2}.h^{-1}$	۱۱۷۵۷/۶۴	EI_{10}	۲۲	$mm^{1.5}.h^{-1.5}$	۷/۸۹	$I^{1.5}$	۷
$mm^{0.5}.t^{0.5}$	۱۶۹/۳۷	\sqrt{AT}	۳۸	$J.mm.m^{-2}.h^{-1}$	۱۰۸۰۰/۸۹	EI_{15}	۲۳	$mm^2.h^{-2}$	۴/۱۲	I^2	۸
$mm^2.h^{-2}$	۴۰۳۹/۱۶	AI_{30}^2	۳۹	$J.mm.m^{-2}.h^{-1}$	۶۵۷۰/۴۵	EI_{30}	۳۴	$J.m^{-2}$	۴۷۸/۸۷	KE_1	۹
$mm^2.h^{-1}$	۲۵۴/۳۱	AI_{30}	۴۰	$J.mm.m^{-2}.h^{-1}$	۵۶۴۸/۳۸	EI_{60}	۳۵	$J.m^{-2}$	۵۷۷/۶۲	KE_2	۱۰
$mm^{1.5}.h^{-0.5}$	۱۰۴/۹۴	$A\sqrt{I_{30}}$	۴۱	$J.mm.m^{-2}.h^{-1}$	۴۹۹۷/۰۰	EI_{120}	۳۶	$J.m^{-2}$	۳۳۷/۴۹	KE_3	۱۱
$J^2.m^{-4}$	۳۳۲۱۸۵/۰۹	$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$	۴۲	mm	۳۷/۰۸	A	۳۷	$J.m^{-2}$	۵۵۷/۰۹	KE_4	۱۲
$J.m^{-2}.mm$	۱۴۶۷/۰۴	$KE.d$	۴۳	$mm^2.h^{-1}$	۶۶۷/۰۹	AI_m	۳۸	$J.m^{-2}$	۴۸۵/۸۰	KE_5	۱۳
$J.m^{-2}.mm^2$	۲۷.۸۷۶	$KE.d^2$	۴۴	mm	۴۷۵	P_{20}	۳۹	$J.m^{-2}$	۶۳۵/۵۸	KE_6	۱۴
$J.m^{-2}.mm^{0.5}$	۹۱۷/۹۶	$KE.\sqrt{d}$	۴۵	$mm^3.h^{-2}$	۲۹۱۸/۳۵	R_{30}	۴۰	$J.m^{-2}$	۵۷۷/۶۲	KE_7	۱۵

جدول ۳- نتایج بررسی تعیین ضرایب همبستگی میان تلفات خاک و شاخص‌های مختلف فرساینده‌گی باران

ردیف	شاخص فرساینده‌گی	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (%)	ردیف	شاخص فرساینده‌گی	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (%)
۱	$I_{\max 5}$	۰/۲۰۱	۰/۰۴	۲۴	EI_{30}	۰/۷۰۸	۰/۰۰۰
۲	$I_{\max 10}$	۰/۲۲۵	۰/۰۴	۲۵	EI_{60}	۰/۷۲۱	۰/۰۰۰
۳	$I_{\max 15}$	۰/۲۳۴	۰/۰۱۶	۲۶	EI_{120}	۰/۲۲۵	۰/۰۴
۴	$I_{\max 30}$	۰/۴۴۵	۰/۰۰	۲۷	A	۰/۶۴۱	۰/۰۰۰
۵	$I_{\max 60}$	۰/۵۷۳	۰/۰۰	۲۸	AI_m	۰/۶۴۶	۰/۰۰۷
۶	$I_{\max 120}$	۰/۵۹۱	۰/۰۰۱	۲۹	P_{20}	۰/۲۹۴	۰/۰۲
۷	$I^{1.5}$	۰/۱۳۵	۰/۷۲۶	۳۰	R_{30}	۰/۵۹۲	۰/۰۱
۸	I^2	۰/۱۶۰	۰/۵۴۱	۳۱	R_{20}	۰/۵۱۵	۰/۰۰۰
۹	KE_1	۰/۶۷۴	۰/۰۰۱	۳۲	R_{10}	۰/۴۸۸	۰/۰۰۰
۱۰	KE_2	۰/۶۷۲	۰/۰۰۱	۳۳	$\frac{KE}{d^2}$	۰/۵۶۵	۰/۰۰۰
۱۱	KE_3	۰/۱۳۵	۰/۷۲۶	۳۴	$\frac{KE}{d}$	۰/۶۲۹	۰/۰۰۰
۱۲	KE_4	۰/۵۹۱	۰/۰۰۱	۳۵	$KE > 1$	۰/۶۷۸	۰/۰۰۰
۱۳	KE_5	۰/۶۷۶	۰/۰۰۱	۳۶	$KE > 2.5$	۰/۶۸۶	۰/۰۵
۱۴	KE_6	۰/۶۷۵	۰/۰۰۱	۳۷	$KE > 5$	۰/۶۵۱	۰/۰۰۱
۱۵	KE_7	۰/۶۶۷	۰/۷۲۶	۳۸	$\sqrt{A.T}$	۰/۳۹۸	۰/۰۰۸
۱۶	KE_8	۰/۶۶۴	۰/۰۰۱	۳۹	AI_{30}^2	۰/۷۱۰	۰/۰۰۰
۱۷	KE_9	۰/۶۵۲	۰/۰۰۱	۴۰	AI_{30}	۰/۷۱۴	۰/۰۰۰
۱۸	KE_{10}	۰/۶۷۴	۰/۰۰۱	۴۱	$A\sqrt{I_{30}}$	۰/۷۰۰	۰/۰۰۰
۱۹	$KE > 25$	۰/۱۱۷	۰/۲۶۴	۴۲	$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$	۰/۶۹۲	۰/۰۰۲
۲۰	$KE > 10$	۰/۶۵۵	۰/۰۰۰	۴۳	$KE.d$	۰/۶۸۸	۰/۰۰۰
۲۱	EI_5	۰/۶۴۸	۰/۰۰۰	۴۴	$KE.d^2$	۰/۶۷۶	۰/۰۰۰
۲۲	EI_{10}	۰/۶۲۳	۰/۰۰۰	۴۵	$KE.\sqrt{d}$	۰/۶۸۳	۰/۰۰۰
۲۳	EI_{15}	۰/۶۳۶	۰/۷۲۶				

پیشنهادها

- بر اساس نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود تا در عرصه آبخیزها و اجرای طرح‌های حفاظت خاک و آبخیزداری، انجام برخی از طرح‌های عمرانی و نیز انجام طرح‌های تحقیقاتی مرتبط با این موضوع، به موارد زیر توجه شود.
۱. استفاده از نقشه هم‌فرساینده‌گی باران برای مدیریت فرسایش حوزه‌های آبخیز با استفاده از نقشه هم‌فرسایه که بر پایه بهترین و موثرترین شاخص فرساینده‌گی باران تولید شده است
 ۲. تعیین زمان مناسب برای اجرای عملیات زیستی (بیولوژیکی) حفاظت خاک
 ۳. افزایش دقت و کارایی معادلات برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از بهترین شاخص فرساینده‌گی باران

۴. امکان واسنجی مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در ایران، و استفاده از شاخص‌های فرساینده‌ی باران متناسب با شرایط ایران
۵. تحقیق و تعیین بهترین شاخص فرساینده‌ی باران در محدوده‌های اقلیمی مشابه در سطح هر استان
۶. افزایش طول دوره آماربرداری از وقایع بارش، رواناب و رسوب متناظر آن‌ها
۷. افزایش تعداد کرت‌ها و متنوع کردن به کاربری‌های گوناگون و استفاده از طبقه‌های مختلف شیب اراضی
۸. کنترل ادواری دستگاه ثبات دیجیتالی بارش در محل ایستگاه‌های تحقیقاتی، و امکان استفاده از دستگاه پیشرفته *Disdrometer* (دیسدرومتر یا پایش‌گر لیزری بارندگی) برای تعیین سرعت حد بارش و قطر میانه ذرات بارش

منابع مورد استفاده

۱. هادسون، ن. ۱۳۷۲. حفاظت خاک. ترجمه حسین قدیری، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.
2. Angima, S.D., D.E. Stott, M.K.O'Neill, C.K. Ong and G.A. Weesies. 2003. Soil erosion predicting using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems and environment*, 97:295-308.
3. Alizadeh, A. 2009. Principles of applied hydrology. Imam Reza University, Press, 870 P.
4. Arnoldus, H.M.J. 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin* 34, 39-51.
5. Brandt, C.J. 1990. Simulation of the size distribution and erosivity of raindrops and throughfall drops. *Earth Surf. Process Landforms*, 15:687-698.
6. Brown, L.C. and G.R. Foster. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30:379-386.
7. Cerro, C., J. Bech, B. Codina and J. Lorente. 1998. Modeling rain erosivity using distrometric techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62(3):731-735.
8. Coutinho, M. and P. Tomas. 1995. Characterization of raindrop size distributions at the Vale Formoso Experimental Erosion Centre. *Catena*, 25(1-4):187-197.
9. D'Odorich, P. and Y.J. Chan. 2001. An assessment of ENSO-induced patterns of rainfall erosivity in the southwestern United States. *Journal of Climate*, Boston, 14(21):4230.
10. Hoyos, N., P. Waylen and A. Jaramillo. 2005. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology*, 12:1-15.
11. Hudson, N.W. 1971. Soil Conservation. Cornell University, Ithaca.
12. Jayawardena, A.W. and R.B. Rezaur. 2000. Drop size distribution and kinetic energy load of rainstorms in Hong Kong. *Hydrol. Process*, 14:1069-1082.
13. Kinnell, P.I.A. 1981. Rainfall intensity-kinetic energy relationships for soil loss prediction. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 45:153-155.
14. Lal, R. 1976. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria, III-Effects of rainfall characteristics. *Geoderma*, 16:389-401.
15. Marshall, J.S. and W.M. Palmer. 1948. The distribution of raindrops with size. *J. Meteorol.*, 5:165- 6.
16. Morgan, R.P.C. 1995. Soil Erosion and Conservation. Longman Group, UK, Limited, 198 p.
17. Nyssen, J., H. Vandenreyken, J. Poessen, J. Deckers, M. Haile, C. Salles and G. Govers. 2004. Rainfall erosivity and variability in the Northern Ethiopian Highlands. *Journal of Hydrology*, 311:172-187.
18. Onchev, N.G. 1985. Universal index for calculating rainfall erosivity. In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C. and Lo, (eds), Soil erosion and conservation, soil conservation society of America, Ankeny, 10:384-92.
19. Renard, K.G. and J.R. Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157:287-306.
20. Riezebos H.T. and G.F. Epema. 1985. Drop shape and erosivity Part II: Splash detachment, transport and erosivity indices. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10:69-74.
21. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. USDA, Agricultural Handbook, No. 537, 58p.
22. Yu, B. 1998. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics. *Soil Research Journal*, 36:143-165.
23. Zanchi, C. and D. Torrie. 1980. Evaluation of rainfall energy in central Italy. In: de Boodt, M. and D. Gabriels (Eds.), A Soil Erosion Assessment, Wiley, Chichester, England, pp. 133-142.

Determining appropriate rainfall erosivity index in a cold semi-arid region of Iran, case study: Kermanshah province

Mohammad Hemmati¹, Former PhD Student, Sciences and Researches Unit, Azad Islamic University, Iran

Davood Nikkami, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Hassan Ahmadi, Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Iran

Gholamreza Zehtabian, Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Iran

Mohammad Jafari, Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Iran

Received: 06 December 2008

Accepted: 20 April 2009

Abstract

Soil is one of the four elements of life and one of the most important agricultural and rangeland production factors. Soil erosion has impact on fertility of upstream lands and indirectly causes downstream damages. On a global scale, more than 50% of rangelands and about 80% of farmlands are significantly suffering from soil erosion and sedimentation phenomenon. Despite of agricultural benefits of rainwater, its erosive energy in the primary stages, detaches soil particles and creates surface runoff which has the most severe impacts on soil erosion. The effective energy in this shape of erosion is called rainfall erosivity, which is rainfall erosion potential and depends on rainfall physical characteristics. Some different indices are developed for quantification of rainfall erosivity. Some indices emphasise on the amount of rainfall or rain intensity. Worldwide investigations show that applying a certain index, like EI_{60} in USLE equation has not sufficient credit and according to climatic condition the best rainfall erosivity index should be determined. In this research, after establishing 21 erosion plots in Kaboudeh Oliya village, Kermanshah city, on two land use types of dry farming of 6, 12, 16 and 17 percent slopes and rangelands on 25, 35 and 45 percent slopes with three repetitions, 15 rainfall events which produced surface runoff were monitored by a recording rain gauge and the amount of surface runoff and sediment were measured. According to the literature, 45 rainfall erosivity indices were chosen to be compared. For facilitating and increasing accuracy of calculations on rainfall erosivity indices, a computer program was developed to analyze and extract necessary factors from each storm. The result showed that in the study area, EI_{60} is the best rainfall erosivity index and has maximum correlation coefficient of 0.721 with soil loss.

Key words: Erosion plot, Kaboudeh Oliya, Land use, Rainfall amount and intensity, Splash erosion

¹ moh_hemmati2051@yahoo.com