

تعیین بهترین شاخص فرساینده گی باران در اقلیم نیمه خشک سرد ایران
(مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده علیا - کرمانشاه)
محمد همتی^۱، حسن احمدی^۲، داود نیک کامی^۳، غلامرضا زهتابیان^۴، محمد جعفری^۵

چکیده:

خاک یکی از عناصر چهارگانه حیات و یکی از مهمترین مولفه ها در فرایند تولید محصولات زراعی و مرتعی محسوب می شود. فرسایش خاک حاصلخیزی اراضی بالادست را تحت تاثیر قرار می دهد و به طور غیر مستقیم اراضی پایین دست را نیز دچار آسیب می نماید در یک نگاه جهانی نسبت به پدیده فرسایش و رسوبگذاری، بیش از ۵۰٪ از اراضی مرتعی دنیا و در حدود ۸۰٪ از زمین های کشاورزی به طور معنی دار و قابل توجهی از فرسایش رنج می برند. گذشته از اهمیت باران در کشاورزی، در مراحل اولیه فرسایش آبی نیروی فرساینده گی 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، فرساینده گی باران (Rainfall Erosivity) می باشد که در واقع توانایی بالقوه باران در ایجاد فرسایش بوده و تابعی از خصوصیات فیزیکی باران است. جهت کمی نمودن تاثیر عامل فرساینده گی باران شاخص های مختلفی توسعه داده شده اند، برخی از آنها بر مقدار بارش و برخی دیگر بر شدت بارش تاکید داشته اند. بررسی ها در سطح دنیا نشان می دهد که استفاده از یک شاخص خاص نظیر شاخص EI_{30} (در معادله USLE) در همه نقاط از اعتبار کافی برخوردار نبوده و ضروری است تا با توجه به شرایط هر منطقه اقلیمی، بهترین شاخص فرساینده گی باران تعیین و مورد استفاده واقع شود.

در این تحقیق پس از احداث ۲۴ کرت رواناب و رسوب در حاشیه روستای کبوده علیا از توابع شهر کرمانشاه، در دو کاربری کشت دیم - آیش (شیب های ۶، ۱۲، ۱۶ و ۱۷ درصد) و نیز مرتع (شیب های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد)، هر یک با سه تکرار، مقادیر رواناب و رسوب هر یک از کرت ها در ۱۵ واقع بارش که منجر به ایجاد رواناب و تلفات خاک شده بودند، پایش و اندازه گیری شدند. اطلاعات شدت و مقدار رگبارها نیز با استفاده از باران نگار ثبات دیجیتالی واقع در محل ایستگاه، ثبت و مورد استفاده واقع شدند. سپس با توجه به مرور منابع گسترده در سطح جهان، نهایتاً ۴۵ شاخص فرساینده گی باران شناسایی شدند. به لحاظ گستردگی تعداد شاخص های مورد بررسی، جهت تسهیل و افزایش دقت محاسبه هر یک از شاخص های فرساینده گی 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 شاخص های فرساینده گی باران برای هر یک از رگبارها تعیین شدند. در ادامه جهت تعیین بهترین شاخص فرساینده گی باران، مطالعات تجزیه و تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۲) بین هر یک از شاخص های فرساینده گی باران و مقادیر تلفات خاک انجام شد. نتیجه حاکی از این بود که در منطقه مورد مطالعه شاخص فرساینده گی EI_{60} به عنوان بهترین شاخص فرساینده گی باران بالاترین مقدار همبستگی و معنی داری مناسب را با مقادیر تلفات خاک داشته است.

واژگان کلیدی: فرسایش قطره بارانی، فرساینده گی باران، کرت رواناب و رسوب، شاخص فرساینده گی باران

¹ دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری
² استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
³ استادیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور
⁴ استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
⁵ استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

مقدمه:

فرسایش خاک به عنوان یکی از مشکلات جدی منابع طبیعی، از طریق هدر رفت فیزیکی خاک، کاهش عمق ریشه، آب قابل دسترس و ذخایر غذایی موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می شود. علاوه بر این با کاهش فقر مواد غذایی خاک از کیفیت محصولات نیز کاسته می شود. طی دهه های اخیر، میزان فرسایش خاک در ایران افزایش چشمگیری یافته است به طوری که 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 بین ۲ تا ۲/۲ میلیارد تن خاک فرسایش یافته و از دستری خارج شده است. این روند رشدی معادل ۴۲۰ درصد را نشان می دهد [۱]. در مقیاس جهانی نزدیک به ۲ بلیون هکتار و یا در حدود ۱۳ درصد از سطح کره زمین در قبال تخریب های ناشی از اثرات منفی انسان دچار مشکل شده است (Oldeman و همکاران، ۱۹۹۱) و در این بین فرسایش آبی دلیل اصلی این تخریب بوده است [۷]. **Anigma** (۲۰۰۲) نیز با تحقیقاتی که در قاره آفریقا انجام داد، بیان داشت که سالانه در آفریقا در حدود ۵ تن در هکتار از خاک سطحی حاصلخیز فرسایش یافته، به سمت دریاچه ها و اقیانوس ها به هدر می روند [۴].

Valentin (۱۹۹۶) و نیز **stocking** (۱۹۹۶) معتقدند که فرسایش خاک یکی از عوامل موثر در فرایند بیابانزایی مناطق نیمه خشک می باشد، نامبردگان برداشت مواد مغذی خاک و تغییر در خواص ساختمانی خاک را دلایل این امر دانسته اند [۵]. در همین راستا خسارات ناشی از فرسایش بارانی (پاشمانی) و به تبع آن شدت اهمیت این قضیه به گونه ای است که باعث شده است تا کارشناسان و محققین علوم فرسایش خاک مطالعات پراکنده ای را در سطح دنیا انجام دهند. در همین راستا **Neyssen** و همکاران (۲۰۰۴)، اشاره داشتند که گذشته از اهمیت باران در کشاورزی، در مراحل اولیه فرسایش آبی نیروی فرساینده متوجه از باران با کندن ذرات خاک و ایجاد رواناب سطحی مهمترین تاثیر را در پدیده فرسایش دارد [۶]. مهمترین عامل فرسایش آبی، باران به طور اخص و شدت بارندگی به طور اعم می باشد. در کلیه روش های تجربی برآورد کمی و یا کیفی فرسایش خاک یکی از فاکتورهای اصلی، عامل فرساینده باران است. از آنجایی که سالانه بر تعداد فرمول های تجربی برآورد فرسایش آبی و کاربرد آنها در امور اجرایی مربوط به حفاظت خاک و آبخیزداری در جهان افزوده می گردد و از آنها نیز با فاصله زمانی کم یا زیاد در ایران استفاده می شود. از این رو منطقی است که جهت پرهیز از هر گونه دوباره کاری و انجام در تعیین عوامل مدل ها، روشی مبتنی بر شرایط حاکم بر حوزه های آبخیز ایران تبیین شود. چنین اقدامی منجر به رفع ابهامات و اختلاف نظر ها در نحوه تعیین عوامل هر یک از مدل ها می گردد. یکی از مهمترین عوامل توان فرسایش باران است که برای تعیین آن کارشناسان فعال در این زمینه روش های متعددی را پیگیری نموده اند. برای حصول اطمینان در محاسبه این عامل اساسی که در اکثر مدل ها دارای کاربرد است، ضرورت دارد اقدام به ارزیابی روش های مختلف تعیین توان فرسایش باران در ایران و در شرایط اقلیمی و آب و هوایی مختلف در کشور شود.

اگر سایر خصوصیات موثر بر فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان تلفات خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده باران خواهد بود. تصادم قطرات باران با زمین مهمترین عامل جدا کننده ذرات خاک است، در شرایط طبیعی فرسایش به ترکیبی از قدرت باران در ایجاد فرسایش و نیز توانایی خاک در تحمل باران بستگی دارد، به عبارتی فرسایش تابعی از فرساینده (Erosivity) برای باران و فرسایش پذیری (Erodibility) برای خاک است [۳]. بنابراین بخش قابل ملاحظه ای از تلفات خاک در حوزه های آبخیز مربوط به انرژی فرساینده ناشی از ضربه قطرات باران می باشد که اصطلاحاً به آن فرسایش قطره بارانی یا فرسایش پاشمانی (Splash erosion) گفته می شود. نتایج مطالعات مختلف نشان می دهد که نرخ پاشمان خاک تابعی مرکب از شدت بارش و نیز سرعت

قطرات باران است (Elison, ۱۹۴۴ و Bisal, ۱۹۶۰). اما در جایی دیگر Nyssen به نقل از Salako (۱۹۹۵) بیان داشته است که فرسایندهای باران تابعی از ویژگی های فیزیکی بارش می باشد. این ویژگی ها مشتمل بر عمق بارش، توزیع اندازه ذرات، سرعت حد ریزش قطرات باران، سرعت باد و ماهیت بارش می باشند [۶]. جهت کمی نمودن تاثیر عامل فرسایندهای باران شاخص های مختلفی توسعه داده شده اند، برخی از آنها بر مقدار بارش و برخی دیگر بر شدت بارش تاکید داشته اند، نظیر این موارد می توان به شاخص Fournier اصلاح شده برای مراکش (Arnoldos, ۱۹۷۷)، EI_{30} برای غرب میانه آمریکا (Brown و Foster, ۱۹۸۷)، (Smit و Wischmeier, ۱۹۷۸)، $KE > 1$ برای جنوب آفریقا (Hudson, ۱۹۷۱) و AI_m برای نیجریه (Lal, ۱۹۷۶) اشاره نمود. از بین شاخص های موجود نیز شاخص EI_{30} یا R بیش از سایر شاخص ها برای برآورد فرسایندهای باران در دنیا به کار رفته است (Hoyos و همکاران ۲۰۰۵). این شاخص ها بسته به منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه گیری متفاوت از هم هستند. در نتیجه در حال حاضر نمی توان هیچ شاخصی را بهتر از شاخص های دیگر دانسته و از آن به عنوان شاخص جهانی فرسایندهای باران یاد کرد (Freimund و Renard, ۱۹۹۴). به طور کلی شاخص های فرسایندهای باران را می توان در قالب دو گروه شاخص های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص های مبتنی بر آمار سهل الوصول بارندگی تقسیم بندی کرد. از معروف ترین شاخص هایی که در گروه اول قرار می گیرند، می توان به EI_{30} (Wischmeier و Smith, ۱۹۷۸)، AI_m (Lal, ۱۹۷۶)، $KE > 1$

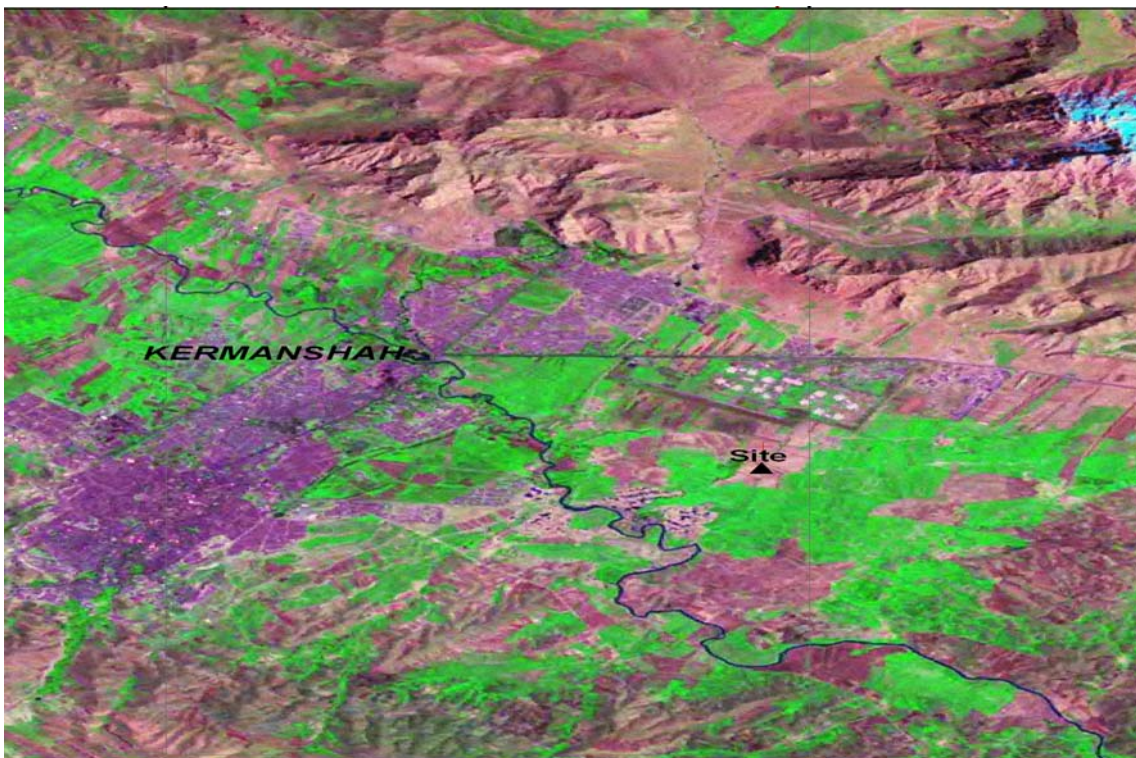
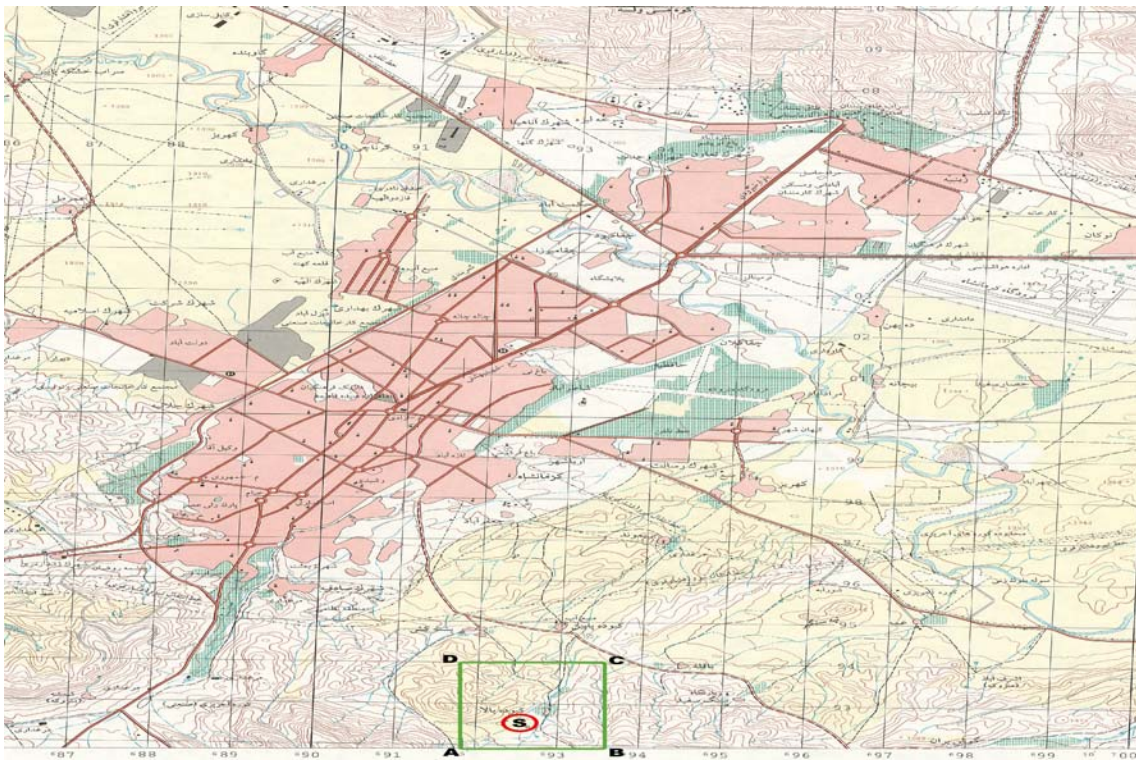
$$(Hudson, ۱۹۷۱)، \frac{P}{\sqrt{t}} (Onchev, ۱۹۸۵) \text{ و مهمترین شاخص هایی که در گروه دوم قرار دارند به } \frac{P_{\max}}{P}$$
$$(Fournie, ۱۹۷۸) \text{ و } \frac{P_x^2}{P} (Arnoldos, ۱۹۷۷) \text{ اشاره کرد. [۲].}$$

هدف اصلی این تحقیق نیز تعیین بهترین شاخص فرسایندهای باران برای منطقه جغرافیایی استان کرمانشاه که یکی از اقلیم نیمه خشک سرد ایران محسوب می شود، بوده است.

مواد و روش ها:

این ایستگاه 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 گردید و به همین منظور شبکه ای از کرت های رواناب و رسوب در کاربری های مختلف و شیب های مختلف احداث گردید. این ایستگاه تحقیقاتی در واقع بخشی از حوزه آبخیز رودخانه قره سو می باشد که در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی کرمانشاه در مجاورت روستای کبوده علیا و بر روی نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح با نام کرمانشاه (Sheet Number = 5858III) واقع شده است این ایستگاه در دشت درود فرامان در حاشیه اراضی کشاورزی و مراتع حریم روستای کبوده علیا واقع بوده و ویژگی شاخص آن عمدتاً نزدیکی آن به شهر کرمانشاه و امکان پایش مناسب کرت ها و ثبت داده های رواناب، رسوب و بارش بوده است. مرکز ثقل ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده در مختصات جغرافیایی ۴۷ ۰۵ طول شرقی و ۱۵ ۳۴ عرض شمالی و یا در سیستم مختصات متریک، در طول ۶۱/۶۹۹۳۳۲ و عرض ۳۲/۳۸۰۰۶۲۶ طول شرقی و ۱۵ ۳۴ عرض شمالی و یا در سیستم مختصات متریک، در طول ۶۱/۶۹۹۳۳۲ و عرض ۳۲/۳۸۰۰۶۲۶ واقع شده و مساحت در حدود ۱۸۰۰ متر مربع را اشغال کرده است. حداقل ارتفاع و حداکثر ارتفاع موجود در این ایستگاه معادل ۱۵۰۰ و ۱۷۵۰ متر از سطح دریا بوده و ارتفاع متوسط وزنی موجود ۱۵۴۰ متر می باشد. شکل شماره

۱ به ترتیب موقعیت ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده علیا بر روی نقشه توپوگرافی و نیز تصویر ماهواره‌ای لندست آن را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده علیا و تصویر ماهواره ای آن

وضعیت اقلیمی محدوده مورد مطالعه در اقلیم نمای آمبرژه نیمه خشک سرد تعیین گردیده است. میانگین بارندگی محدوده با توجه به ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کرمانشاه که در فاصله کمتر از ۵ کیلومتری این منطقه واقع شده است، طی یک دوره ۳۹ ساله از سال آبی ۱۳۴۶-۱۳۴۵ منتهی به سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳، حدود ۴۶۵ میلیمتر می باشد. رژیم بارش ها مدیترانه ای بوده، بطوریکه شروع فعالیت های سیکلونهای مدیترانه ای از اوایل پاییز بوده و تا اواسط بهار ادامه می یابد. توزیع بارش متوسط سالانه بگونه ای است که درصد فصلی آن در فصل بهار ۱۹/۶۱٪، زمستان ۴۶/۲۸٪، پاییز ۳۳/۵۴٪ و تابستان ۰/۵۷٪ می باشد. به لحاظ زمین چینه شناسی، سنگ های موجود در این محدوده متعلق به دوران دوم و سوم زمین شناسی می باشند و در میان همه آنها تیپ لیتولوژیکی سنگ های آهکی شاخص ترین می باشد. در طبقه بندی فیزیوگرافی اراضی، محدوده این ایستگاه تحقیقاتی شامل دو تیپ اصلی تپه ها و دشت های دامنه ای می باشند.

جهت انجام تحقیق در وهله نخست با بررسی ایستگاه های تحقیقات حفاظت خاک در سطح کشور و در نظر گرفتن پیش فرض هایی، سرانجام ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک روستای کبوده علیا در استان کرمانشاه به عنوان یکی از سایت های مناسب، انتخاب گردید. وجود عرصه بلامنازع برای احداث و ایجاد کرت های آزمایشی، وجود کرت های رواناب و رسوب در کاربری ها و شیب های مختلف از اراضی، همگن بودن خاک منطقه، رعایت اصول صحیح برای جمع آوری رواناب و اندازه گیری تلفات خاک بعد از هر واقعه بارش، ثبت اطلاعات رگبارها با تاکید بر ثبت مقادیر شدت رگبار ها برای پایه های زمانی کوتاه مدت، دسترسی به جاده اصلی، امنیت محلی برای نگهداری از پلاتها و تجهیزات مربوطه در طول دوره اجرای طرح و عدم ورود احشام و تخریب آنها از جمله نکاتی بودند که در انتخاب نهایی این ایستگاه مد نظر قرار گرفتند.

در خصوص روش کار و رسیدن به هدف نهایی تحقیق، انجام مراحل زیر به ترتیب مورد توجه واقع شدند. این مراحل عبارتند از:

- ۱- تعیین مقادیر رواناب و رسوب ناشی از هر واقعه بارش
- ۲- طبقه بندی شاخص های فرساینده گی باران
- ۳- معرفی شاخص های جدید فرساینده گی باران
- ۴- تشریح چگونگی محاسبه و برآورد هر یک از شاخص های فرساینده گی باران
- ۵- ثبت اطلاعات مربوط به مقدار، شدت و مدت رگبار ها
- ۶- آنالیز و تجزیه و تحلیل رگبارها جهت استخراج پارامتر های مورد نیاز
- ۷- تعیین شاخص های فرساینده گی باران اشاره شده
- ۸- آنالیزهای آماری و بررسی روابط همبستگی میان تلفات خاک و شاخص های فرساینده گی باران جهت معرفی بهترین شاخص فرساینده گی باران

تعیین مقادیر رواناب و رسوب ناشی از هر واقعه بارش:

برای تعیین مقادیر رواناب و رسوب ناشی از هر رگبار، کرت های رواناب و رسوب در دو نوع کاربری مهم یعنی کاربری مرتع و کاربری زمین های کشاورزی دیم و آیش در شیب های ۶، ۱۲، ۱۶، ۱۷، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد احداث شدند. در کاربری دیمزارهای منطقه، کرت ها در شیب های ۶، ۱۲، ۱۶ و ۱۷ درصد و در مورد مراتع موجود، کرت ها بر روی شیب های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد هر یک با سه تکرار احداث شدند. بنابراین در کل ۲۱ کرت رواناب - رسوب

در نظر گرفته شده و برای احداث آنها از ورقه‌های گالوانیزه ضخیم با مقاومت بالا استفاده گردید، ورقه‌ها تا عمق ۲۰ سانتیمتری در زمین کوبیده شدند و ارتفاع لبه آنها از سطح خاک نیز ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. این کرت‌ها در ابعاد ۳ در ۱۰ متر ساخته شدند. بنابراین سطح هر یک از کرت‌ها ۳۰ متر مربع و سطح کل آنها بازا ۲۱ پلات موجود ۶۲۰ متر مربع بود. جهت جمع آوری رواناب و رسوب، از بشکه‌های ۲۲۰ لیتری و سطل‌های پلاستیکی در داخل آن استفاده شد، نحوه استفاده به این شکل بود که در داخل هر یک از بشکه‌های ۲۲۰ لیتری یک سطل پلاستیکی کوچکتر در راستای لوله نازل رواناب و رسوب قرار داده شد، بطوریکه رواناب و رسوب تولیدی مستقیماً در داخل سطل پلاستیکی ریخته می‌شد. نحوه استفاده از اراضی در کرت‌های زراعت دیم به گونه‌ای بودند که در مدت دو سال از شروع طرح، سال اول کلیه این کرت‌ها تحت زراعت دیم گندم و جو قرار گرفتند و در سال دوم تحت آیش قرار داده شدند. در طول مدت طرح ۱۵ رگبار منجر به تولید رواناب و رسوب ثبت و مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت تعیین حجم رواناب‌ها بعد از هر واقعه بارش، با استفاده از خطکش ارتفاع رواناب جمع شده قرائت شده 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 منتقل شد رسوبات به آزمایشگاه خاک شناسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه منتقل شد، وزن نمونه در ابتدا تعیین شده و سپس به مدت ۳ ساعت تا خشک شدن کامل نمونه در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند، بعد از خشک شدن کامل هر یک از نمونه‌ها مجدداً توزین شدند. اختلاف دو قرائت به عنوان غلظت وزن رسوب در نظر گرفته شد. با توجه به مشخص بودن حجم رواناب هر واقعه بارش و نیز غلظت هر نمونه، وزن رسوب یا تلفات خاک محاسبه گردید. جدول شماره ۱ نمونه‌ای از نتایج اندازه‌گیری رواناب و رسوب وقایع بارندگی‌های پاییز شده در کاربری دیم - آیش در شیب ۶٪ را نشان می‌دهد.

طبقه بندی شاخص‌های فرساینده‌گی باران:

در یک دیدگاه کلی به طور 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 تقسیم بندی کرد. اما اگر به این مساله با رویکردی دقیق تر نگاه کرد، در پاره‌ای از موارد مشاهده می‌گردد که شاخص‌هایی وجود دارند که از هر دو عامل شدت بارش و مقدار بارش بهره مند بوده‌اند. بنابراین در ادامه و بر اساس نکته فوق‌الذکر تقسیم بندی زیر ارائه شده است. لازم به ذکر است که این تقسیم بندی در هیچ منبعی به این شکل ارائه نشده و صرفاً حاصل مطالعات همه جانبه و متکی بر مرور منابع گسترده این تحقیق می‌باشد.

در طبقه بندی شاخص‌های فرساینده‌گی باران گروه‌های زیر قابل تفکیک و ارائه هستند، این گروه‌ها عبارتند از :

- شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی
- شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی رگبار
- شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی و انرژی جنبشی باران
- شاخص‌های مبتنی بر مقدار بارندگی
- شاخص‌های مبتنی بر مقدار و شدت بارندگی
- شاخص‌های مبتنی بر شدت و مدت بارندگی
- شاخص‌های مبتنی بر قطر و سرعت سقوط قطرات

- شاخص‌های جدید

شاخص‌های فرساینده‌گی گروه اول مشتمل بر شاخص‌های هستند که بر پایه حداکثر شدت بارش در پریودهای 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 $I^{1.5}$ یا **Roose** و شاخص **Nearing** یا I^2 تعریف شده اند، واحد این شاخص‌ها میلی‌متر بر ساعت می‌باشد. شاخص‌های گروه دوم، خود دو دسته بوده، دسته اول شاخص‌هایی هستند که مستقیماً و صرفاً بر اساس استفاده از مقادیر انرژی جنبشی یا KE تعریف شده اند و دسته دوم علاوه بر استفاده از مقادیر انرژی جنبشی، با اعمال مقادیر حدی برای شدت رگبارها، شاخص‌های جدیدی را مطرح کرده اند. در این تحقیق از شاخص‌های گروه اول مقدار انرژی جنبشی بر اساس روش‌های ارائه شده (Palmer و Marshal)، (Smith و Wischmeier)، (Tomas و Zanchi)، (Torri و Kinnell)، (Onaga، Shirai و Yoshinaga)، (Brandt)، (Cuttinho و Tomas)، (Cerro و همکاران)، (Jayawardena و Rezaur) و (Alizadeh) (ردیف‌های ۹ تا ۱۸ شاخص‌های فرساینده‌گی) تعیین شدند. از دسته دوم این گروه نیز، شاخص‌هایی نظیر شاخص فرساینده‌گی Hudson ($KE > 25$) و نیز شاخص Morgan ($KE > 10$) انتخاب و استفاده شدند، واحد این گروه از شاخص‌ها برابر ژول بر متر مربع می‌باشد. برای محاسبه شاخص‌های فرساینده‌گی گروه سوم که مبتنی بر استفاده توأم شدت بارندگی و انرژی جنبشی باران می‌باشند، از حاصلضرب 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، واحد شاخص‌های این گروه نیز معادل ژول میلی‌متر بر متر مربع بر ساعت می‌باشد. 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. دلیل عدم استفاده از شاخص‌های Fournieh و Arnoldus، و شاخص $P_{6\max}$ ، ضرورت وجود آمار بلند مدت بارش می‌باشد، 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 شده اند. در این تحقیق از این گروه، شاخص‌های AI_m یا همان شاخص Lal (برابر با حاصلضرب 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 بازاء حداکثر شدت ۲۰ دقیقه‌ای رگبار، شاخص‌های فرساینده‌گی R_{30}, R_{20} و R_{10} یا همان شاخص‌های Stanescu (تپ اول، دوم و سوم) که برابر با حاصلضرب حداکثر شدت‌های بارش ۳۰، ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای در مجموع حاصلضرب مقدار بارش‌های جزئی در شدت‌های متناظر مربوطه می‌باشد. 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 بوده و t مدت زمانی (است) مورد بررسی قرار گرفت که در رگبارهای حادث شده، هیچ یک حائز این شرط واقع نشدند. از شاخص‌های

گروه هفتم نیز، شاخص های فرسایندهای Riezebosa و Epema تیب 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 می باشد. در بخش آخر نیز تعداد ۱۱ شاخص دیگر بر اساس جمع بندی نتایج مرور منابع و احتمالات دیگر معرفی شدند تا عملکرد و کارایی آنها در تناسب با میزان تلفات خاک بررسی گردد. شاخص های $KE > 1$ ، $KE > 2.5$ ، $KE > 5$ ، $\sqrt{A.T}$ ، AI_{30}^2 ، AI_{30} ، $A\sqrt{I_{30}}$ ، $\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$ ، $KE.d$ ، $KE.d^2$ و $KE\sqrt{d}$ شاخص ها می بودند که مورد استفاده قرار گرفتند. در این شاخص ها KE ، A ، I_{30} و d به ترتیب مقادیر انرژی جنبشی بارش، مقدار بارش، حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای و قطر میانه ذرات هستند.

ثبت اطلاعات مربوط به مقدار، شدت و مدت رگبار ها:

همگام با پایش مقادیر رواناب و رسوب کرت ها، اطلاعات شدت رگبارها با استفاده از یک دستگاه باران نگار مجهز به ثبت دیجیتالی (Data Logger) ثبت گردیدند. اطلاعات رگبارهای ثبت شده در حافظه دستگاه به کامپیوتر منتقل گردید. تنظیمات باران نگار موجود در این ایستگاه بگونه ای بود که بازاء هر ۰/۱ میلیمتر بارش یک مورد ثبت زمان را به همراه داشت و بدین شکل بطور مثال برای یک بارش ۱۵ میلیمتری ۱۵۰ مورد ثبت ارتفاع بارش وجود داشت.

آنالیز و تجزیه و تحلیل رگبارها جهت استخراج پارامترهای مورد نیاز:

جهت تعیین شدت های حداکثر بارش در پایه های زمانی مختلف نیاز به مقادیر ارتفاع بارش در هر دقیقه از رگبار می باشد. اطلاعات باران نگارها به علت ثبت تراکمی مقادیر بارش، به تنهایی قادر به پاسخ نیازهای این بخش نمی باشند، لذا در این بخش از مطالعات با استفاده از زبان برنامه نویسی Visual Basic در محیط نرم افزار Excel، برنامه ای تهیه شد تا با انجام عمل درون یابی (Interpolation)، این امکان را فراهم سازد تا مقدار بارش بازاء هر دقیقه از زمان تعیین گردد. این برنامه بگونه ای 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 فرمول نویسی در محیط نرم افزار Excel، ترتیبی اتخاذ شد تا مقدار ماکزیمم شدت بارش در پایه های زمانی مختلف محاسبه و ارائه گردد. این محاسبات عملاً ملاک بررسی های بعدی واقع شد.

تعیین شاخص های فرسایندهای باران اشاره شده:

در این بخش از تحقیق با توجه به ماهیت هر شاخص و عوامل موثر در برآورد آن، با استفاده از اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل هر یک از رگبارها، نهایتاً ۴۵ شاخص فرسایندهای باران برای هر رگبار تعیین و برآورد گردید. نمونه یکی از نتایج برآوردها، مربوط به رگبار مورخ ۸۴/۱۱/۰۵ در جدول شماره ۲ آورده شده است.

آنالیزهای آماری و بررسی روابط همبستگی میان تلفات خاک و شاخص های فرسایندهای باران:

آنچه که مسلم است در میان پارامترهای موجود، تلفات خاک (Soil Loss) به عنوان یک متغیر وابسته بوده و شاخص های فرسایندهای (Rainfall Erosivity Indexes) بعنوان متغیرهای مستقلی هستند که یکی از آنها بالاترین همبستگی را با عامل وابسته نشان خواهد داد، بنابراین برای تعیین بهترین شاخص فرسایندهای باران تعیین مقادیر ضرایب همبستگی بین مقدار شاخص فرسایندهای و مقدار تلفات خاک متناظرش الزامی است. برای این منظور

جدول شماره ۱: نتایج اندازه گیری مقادیر حجم رواناب و میانگین وزن رسوب در کرت های آزمایشی ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کیوده علیا کرمانشاه

تیمار زراعت دیم - آیش (شیب ۶ درصد)

شماره کرت - وزن رسوب (گرم)			شماره کرت - رواناب (لیتر)			مقدار رگبار (میلیمتر)	تاریخ رگبار	ردیف
3	2	1	3	2	1			
1.51	1.75	1.24	23.30	38.84	31.07	8.63	83/08/27	1
1.29	1.17	1.43	32.21	29.28	40.99	9.76	83/09/18	2
5.82	6.49	5.59	83.18	99.81	93.16	22.18	83/10/05	3
16.00	10.24	9.07	63.99	56.88	53.33	11.85	83/11/13	4
26.38	33.06	25.85	138.85	132.24	112.40	22.04	83/11/19	5
230.4	234.6	220.32	180.00	204.00	216.00	40	83/12/14	6
6.26	7.83	9.30	69.59	74.57	84.51	16.57	83/12/21	7
3.38	2.81	0.11	33.81	31.21	36.41	8.67	84/02/24	8
2.63	3.22	2.20	32.88	42.99	36.67	8.43	84/07/09	9
4.87	3.98	5.88	54.09	46.88	57.70	12.02	84/08/13	10
24.81	25.70	26.03	65.28	73.44	89.76	27.2	84/10/02	11
49.70	42.52	35.80	121.21	111.89	111.89	31.08	84/11/05	12
6.40	8.01	9.46	55.62	66.74	63.04	12.36	84/12/17	13
169.81	151.17	134.61	142.69	133.78	117.05	37.16	85/01/08	14
11.95	9.00	8.68	34.14	28.12	32.14	13.39	85/01/28	15

جدول شماره ۲: نتایج محاسبات شاخص های فرساینده گی باران برای رگبار مورخ ۱۳۸۴/۱۱/۰۵ ایستگاه

تحقیقات حفاظت خاک کبوده علیا

مقدار	نماد شاخص فرساینده گی	ردیف	مقدار	نماد شاخص فرساینده گی	ردیف	مقدار	نماد شاخص فرساینده گی	ردیف
3647.94	R_{20}	31	680.86	KE_8	16	21.12	$I_{\max 5}$	1
5222.32	R_{10}	32	377.52	KE_9	17	20.4	$I_{\max 10}$	2
89.57	$\frac{KE}{d^2}$	33	528.57	KE_{10}	18	18.74	$I_{\max 15}$	3
227.21	$\frac{KE}{d}$	34	0	$KE > 25$	19	11.4	$I_{\max 30}$	4
565.01	$KE > 1$	35	261.47	$KE > 10$	20	9.8	$I_{\max 60}$	5
483.54	$KE > 2.5$	36	12172.62	EI_5	21	8.67	$I_{\max 120}$	6
427.21	$KE > 5$	37	11757.64	EI_{10}	22	2.89	$I^{1.5}$	7
169.37	\sqrt{AT}	38	10800.89	EI_{15}	23	4.12	I^2	8
4039.16	AI_{30}^2	39	6570.45	EI_{30}	24	478.87	KE_1	9
354.31	AI_{30}	40	5648.28	EI_{60}	25	572.62	KE_2	10
104.94	$A\sqrt{I_{30}}$	41	4997.00	EI_{120}	26	337.49	KE_3	11
332185.09	$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$	42	31.08	A	27	557.09	KE_4	12
1462.04	$KE.d$	43	647.09	AI_m	28	485.80	KE_5	13
3708.76	$KE.d^2$	44	4.75	P_{20}	29	635.58	KE_6	14
917.96	$KE.\sqrt{d}$	45	2918.35	R_{30}	30	572.62	KE_7	15

با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۲)، مقادیر ضرایب همبستگی و سطح معنی داری هر یک تعیین گردید. جدول شماره ۳ نتایج بدست آمده را برای کلیه شاخص های فرساینده گی مورد مطالعه نشان می دهد.

جدول شماره ۳: نتایج بررسی تعیین ضرایب همبستگی میان تلفات خاک و شاخص های مختلف فرساینده‌گی باران در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده علیا کرمانشاه

سطح معنی داری (درصد)	ضریب همبستگی	شاخص فرساینده‌گی	ردیف	سطح معنی داری (درصد)	ضریب همبستگی	شاخص فرساینده‌گی	ردیف
0.000	0.708	EI_{30}	24	0.04	0.201	$I_{\max 5}$	1
0.000	0.721	EI_{60}	25	0.04	0.225	$I_{\max 10}$	2
0.04	0.225	EI_{120}	26	0.016	0.234	$I_{\max 15}$	3
0.000	0.641	A	27	0.00	0.445	$I_{\max 30}$	4
0.007	0.646	AI_m	28	0.00	0.573	$I_{\max 60}$	5
0.02	0.294	P_{20}	29	0.001	0.591	$I_{\max 120}$	6
0.01	0.592	R_{30}	30	0.726	0.135	$I^{1.5}$	7
0.000	0.515	R_{20}	31	0.541	0.160	I^2	8
0.000	0.488	R_{10}	32	0.001	0.674	KE_1	9
0.000	0.565	$\frac{KE}{d^2}$	33	0.001	0.672	KE_2	10
0.000	0.629	$\frac{KE}{d}$	34	0.726	0.135	KE_3	11
0.000	0.678	$KE > 1$	35	0.001	0.591	KE_4	12
0.05	0.686	$KE > 2.5$	36	0.001	0.676	KE_5	13
0.001	0.651	$KE > 5$	37	0.001	0.675	KE_6	14
0.008	0.398	\sqrt{AT}	38	0.726	0.667	KE_7	15
0.000	0.710	AI_{30}^2	39	0.001	0.664	KE_8	16
0.000	0.714	AI_{30}	40	0.001	0.652	KE_9	17
0.000	0.700	$A\sqrt{I_{30}}$	41	0.001	0.674	KE_{10}	18
0.002	0.692	$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$	42	0.264	0.117	$KE > 25$	19
0.000	0.688	$KE.d$	43	0.000	0.655	$KE > 10$	20
0.000	0.676	$KE.d^2$	44	0.000	0.648	EI_5	21
0.000	0.683	$KE.\sqrt{d}$	45	0.000	0.623	EI_{10}	22
				0.726	0.636	EI_{15}	23

بحث و نتیجه گیری:

بررسی نتایج بدست آمده نشان می دهد که در میان ۴۵ شاخص فرساینده‌گی مورد مطالعه، شاخص فرساینده‌گی EI_{60} با ضریب همبستگی ۰/۷۲۱ و سطح احتمال معنی داری ۱۰۰ درصد در میان سایر شاخص ها از بالاترین مقدار

همبستگی برخوردار است و باید آن را به عنوان بهترین شاخص فرساینده برای این منطقه در نظر گرفت. بررسی روند موجود در میان مقادیر بدست آمده نشان می دهد که شاخص های صرفاً مبتنی بر مقدار شدت حداکثر بارش در پایه های زمانی مختلف (شاخص های شماره ۱ تا ۶)، همبستگی های ضعیفی با مقدار تلفات خاک دارند، با تغییر نوع شاخص ها از شاخص های گروه قبلی به شاخص های مبتنی بر مقدار انرژی جنبشی بارش به تنهایی (KE_1 تا KE_{10}) افزایش قابل توجهی در مقدار ضریب همبستگی دیده می شود، بطوریکه حداکثر آن مربوط به شاخص فرساینده KE_{10} با مقدار انرژی جنبشی بر اساس رابطه ارائه شده توسط علیزاده با مقدار $0/674$ و سطح معنی داری $0/001$ می باشد، این در حالی است که در شاخص های گروه اول یعنی شاخص های مبتنی بر مقدار شدت حداکثر بارش در پایه های زمانی مختلف (I_{max5} تا I_{max120}) حداکثر ضریب همبستگی مربوط به شاخص فرساینده I_{max120} با ضریب همبستگی $0/591$ و سطح معنی داری $0/001$ است. اما نکته قابل توجه در این نتایج آن است که به محض ورود همزمان مقدار انرژی جنبشی رگبار و یکی از شدت های حداکثر بارش در پایه های زمانی مختلف، شاهد روند رو به رشد همبستگی ها هستیم، این امر در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک روستای کبوده علیا شرایطی را فراهم ساخته است که شاخص EI_{60} به عنوان بهترین شاخص در نظر گرفته شود. این مساله خود تاییدی بر نتایج تحقیقات انجام یافته توسط Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) است، زیرا آنان نیز اعلام کرده بودند که با ورود مقدار انرژی جنبشی رگبار در کنار مقدار شدت حداکثر بارش، وضعیت همبستگی ها بهتر می شود. تنها تفاوت موجود در اینجا مربوط به پایه زمانی حداکثر شدت رگبار می باشد، بطوریکه برای منطقه کرمانشاه اثر شدت حداکثر ۶۰ دقیقه ای به مراتب بهتر از تاثیر حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بر اساس آنچه که Wischmeier و Smith بیان داشته بودند، می باشد. در مورد بررسی بخش فرساینده و غیره فرساینده رگبارها نیز بررسی شاخص های $KE > 1$ ، $KE > 2.5$ ، $KE > 5$ ، $KE > 7$ و $KE > 10$ نشان می دهد که روند صعودی همبستگی میان تلفات خاک و مقادیر حدی انرژی جنبشی بگونه ای است که از حد آستانه شدت ۱ میلیمتر در ساعت تا شدت $2/5$ میلیمتر در ساعت مقدار همبستگی افزایش می یابد، سپس در حد شدت ۵ میلیمتر در ساعت، مقدار همبستگی کاهش یافته و این روند کاهش تا حد آستانه ۱۰ میلیمتر در ساعت ادامه پیدا می کند. بنابراین اینگونه می توان بیان داشت که شدت های مساوی و بیشتر از $2/5$ میلیمتر در ساعت بیشترین تاثیر را در تلفات خاک این منطقه دارند. بیان جمله به معنای نفی تاثیر مقادیر شدت های بیشتر از ۱ میلیمتر در ساعت و یا شدت های بیشتر از ۷ میلیمتر در ساعت نیست، بلکه می توان اینگونه استنباط نمود که بیشترین تاثیر مربوط به مقادیر بیشتر از حد آستانه $2/5$ میلیمتر در ساعت است. چگونگی بروز چنین رابطه ای تا حدود زیادی مرتبط با وضعیت رگبارهای منطقه و به بیان دیگر مربوط به الگوی بارش این منطقه است. در مورد شاخص هایی نیز که مبتنی بر استفاده از پارامتر های مقدار بارش و شدت بارش و شیب بارش بطور همزمان می باشند، کارکرد ضرایب همبستگی در حد قابل قبول و مناسبی می باشد، اما باز هم شاخص های این گروه مقادیر همبستگی کمتری نسبت به شاخص EI_{60} دارند. شاخص های گروه آخر که متاثر از استفاده توأم انرژی جنبشی بارش و قطر میانه ذرات بارش هستند نیز دارای همبستگی های خوبی هستند، اما در اینجا نیز باز هم حداکثر ضریب همبستگی موجود که مربوط به شاخص $KE.d$ با ضریب همبستگی $0/688$ بوده و به مراتب کمتر از ضریب همبستگی مربوط به شاخص ترکیبی EI_{60} می باشد.

پیشنهادات:

بر اساس نتایج این تحقیق، پیشنهاد می گردد تا در عرصه مدیریت آبخیزها و اجرای پروژه های حفاظت خاک و آبخیزداری، انجام برخی از پروژه های عمرانی و نیز انجام طرح های تحقیقاتی مرتبط با این موضوع توسط افرادی که علاقمند به پیگیری این مطالعات در سایر نقاط کشور هستند، موارد زیر مد نظر قرار داده شود:

- ۱ - استفاده از نقشه همفرسایندگی باران جهت مدیریت فرسایش حوزه های آبخیز با استفاده از نقشه همفرسایندگی که بر پایه بهترین و موثر ترین شاخص فرسایندگی باران تولید شده است.
- ۲ - تعیین زمان مناسب برای اجرای عملیات بیولوژیکی حفاظت خاک
- ۳ - افزایش دقت و کارایی معادلات رگرسیونی برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از بهترین شاخص فرسایندگی باران
- ۴ - امکان واسنجی مدل های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در ایران و امکان استفاده از شاخص های فرسایندگی باران متناسب با شرایط ایران
- ۵ - مکان یابی صحیح و انتخاب بهترین دوره زمانی برای اجرای پروژه های عمرانی
- ۶ - مطالعه و تعیین بهترین شاخص فرسایندگی باران در محدوده های اقلیمی مشابه در سطح هر استان
- ۷ - افزایش طول دوره آمار برداری از وقایع بارش، رواناب و رسوب متناظر آنها
- ۸ - افزایش تعداد کرت ها و تنوع دادن به کاربری های مختلف و استفاده از کلاس های مختلف شیب اراضی
- ۹ - استفاده از باران سازهای مصنوعی در اجرای طرح های تحقیقاتی مناطق خشک
- ۱۰ - کنترل ادواری دستگاه ثبت دیجیتالی بارش در محل ایستگاه های تحقیقاتی و امکان استفاده از دستگاه پیشرفته Disdrometer (دیسدرومتر یا پایشگر لیزری بارندگی) جهت تعیین سرعت حد بارش و قطر میانه ذرات بارش

منابع مورد استفاده:

- ۱ - حسینی، س.ص.، قربانی، م.، ۱۳۸۴، اقتصاد فرسایش خاک، دانشگاه کردوسی مشهد، شماره ۴۳۹.
- ۲ - حکیم خانی، ش.، م. مهدیان، م. عرب خدری، د. قربان پور، ۱۳۸۴. بررسی فرسایندگی باران در سطح کشور، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، ۶ الی ۹ شهریور ماه ۱۳۸۴، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

۳ - هادسون، ن.، ۱۳۷۲، حفاظت خاک، ترجمه حسین قدیری، انتشارات دانشگاه شهید چمران.

4 - Angima, S.D., D.E. stott, M.K. O' Neill, C.K. Ong, G.A. Weesies, 2003, Soil erosion predicting using RUSLE for central Kenyan highland conditions, Agriculture, Ecosystems and environment 97 (2003) P 295-308.

5 - D'Odorich, Paolo, Yoo, Jae Chan., 2001, An assessment of ENSO-induced patterns of rainfall erosivity in the southwestern United States, Journal of Climate. Boston: Nov 1, 2001, Vol.14, Iss. 21; pg. 4230, 13 pgs.

6 - Nyssen, J., H. Vandenreyken, J. Poessen, J. Deckers, Mitiku Haile, C.Salles, G.Govers, 2004. Rainfall erosivity and variability in the Northern Ethiopian Highlands, Journal of Hydrology 311(2005)P 172-187.

7 - Yu, B., 1998, Rainfall erosivity and its estimation for Australias tropics, soil research journal no.36, p 143 - 165