

# بررسی و معرفی چند شاخص جدید فرساینده گی باران

داود نیک‌کامی<sup>۱</sup>، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

پیمان رزم‌جو، کارشناس ارشد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

فرزاد بیات‌موحد، مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۱۰

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۶/۱۶

## چکیده

نیروی موثر در ایجاد این شکل از فرسایش، فرساینده گی باران می‌باشد 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 شاخص‌های مختلفی توسعه داده شده‌اند، برخی از آن‌ها بر مقدار بارش و برخی دیگر بر شدت بارش تاکید داشته‌اند. بررسی‌ها در سطح دنیا نشان می‌دهد که به‌رغم استفاده گسترده از شاخص  $EI_{30}$  به‌عنوان بهترین شاخص فرساینده گی باران، در بسیاری از نقاط تحقیقات نشان داده‌اند که شاخص مزبور از اعتبار کافی برخوردار نبوده و ضروری است تا با توجه به شرایط جغرافیایی هر منطقه، بهترین شاخص فرساینده گی باران تعیین و مورد استفاده واقع شود. در این تحقیق ۱۸ کرت رواناب و رسوب در دو تیمار شخم در جهت شیب و شخم عمود بر جهت شیب (هر یک با سه تکرار) در کاربری کشت گندم دیم، در سه طبقه شیب اراضی (۱۲-، ۲۰-، ۱۲-۲۰-۴۰ درصد) در ایستگاه پخش سیلاب سهرین - قره چریان در استان زنجان، احداث شدند. مقادیر رواناب و رسوب هر یک از کرت‌ها در ۱۴ 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 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. به‌لحاظ گستردگی تعداد شاخص‌های مورد بررسی، جهت تسهیل و افزایش دقت محاسبه هر یک از شاخص‌های فرساینده گی باران، با تهیه یک برنامه کامپیوتری با استفاده از زبان برنامه نویسی VB، هر یک از رگبارها تجزیه و تحلیل شده و پس از استخراج مقادیر بارش در هر دقیقه از رگبارها و تعیین سایر عوامل مورد نیاز، مقادیر هر یک از شاخص‌های فرساینده گی باران برای هر یک از رگبارها تعیین شدند. در ادامه جهت تعیین بهترین شاخص فرساینده گی باران، مطالعات تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۲) بین هر یک از شاخص‌های فرساینده گی باران و مقادیر تلفات خاک انجام شد. نتیجه نشان داد که در منطقه مورد مطالعه شاخص فرساینده گی  $I^2$  (مربع شدت متوسط رگبار) به‌عنوان بهترین شاخص فرساینده گی باران بالاترین مقدار همبستگی و معنی‌داری لازمه را با مقادیر تلفات خاک داشته است.

واژه‌های کلیدی: رسوب، رواناب، زنجان، شدت بارش، کرت فرسایش

## مقدمه

از جمله عوامل عمده و موثر بر فرسایش خاک می‌توان به قدرت فرساینده گی باران، رواناب، باد، فرسایش‌پذیری خاک، طول و تندی شیب اراضی، پوشش گیاهی و نوع مدیریت و کاربری اراضی اشاره نمود. در مراحل اولیه فرسایش آبی، نیروی فرساینده گی باران با کندن ذرات خاک و ایجاد رواناب سطحی تاثیر زیادی را در پدیده فرسایش دارد (Nyssen و همکاران، ۲۰۰۴). Toy و همکاران (۲۰۰۲) به نقل از Foster و همکاران و Wischmeier میزان تلفات خاک در فرسایش آبی را مستقیماً با میزان و شدت بارندگی و انرژی جنبشی آن مربوط دانسته و ادعان می‌کنند که دو متغیر مهم در تعیین شاخص فرساینده گی باران مقدار و شدت بارندگی می‌باشند. شدت بارندگی شاخصی از فرسایش را

<sup>۱</sup> nikkami@scwmri.ac.ir

برای واحد بارندگی فراهم ساخته که در صورت ضرب در مقدار بارندگی برآوردی از کل فرسایندها باران را فراهم می‌سازد. این رابطه ساده در فرسایش ناشی از رواناب سطحی نیز صادق است و فرسایش ناشی از رواناب سطحی به دبی و میزان آن بستگی دارد.

میزان رواناب به میزان بارندگی و نفوذپذیری، و حداکثر دبی رواناب به حداکثر شدت بارندگی و شدت نفوذپذیری مربوط می‌شود. بنابراین، نتیجه حاصل ضرب میزان و شدت بارندگی در تعیین فرسایش ناشی از پاشمان و رواناب سطحی قابل استفاده است (Toy و همکاران، ۲۰۰۲). Laws (۱۹۴۰) اولین مطالعه تفضیلی را بر روی باران طبیعی انجام داد و میزان فرسایش را در ارتباط با توان فرسایندها باران محاسبه نمود. Meyer (۱۹۶۵) روش‌های مختلف مدیریت زراعی را در کرت‌های مختلف با باران طبیعی و مصنوعی مورد آزمایش قرار داده و عنوان نمود که نوع مدیریت زراعی در کاهش فرسایش و رسوب موثر است. Wischmeier و Smith (۱۹۶۵) یکی از تفاوت‌های اساسی مدل جهانی فرسایش را با مدل‌های قبلی مد نظر قرار دادن عامل بارندگی معرفی می‌نمایند. اطلاعات جمع‌آوری شده نشان داد که در صورت ثابت بودن همه شرایط، میزان فرسایش خاک در اراضی زراعی متناسب با عامل فرسایندها باران است که بر اساس رابطه (۱) برابر با متوسط سالانه حاصل ضرب انرژی باران و حداکثر شدت بارندگی در پایه زمانی ۳۰ دقیقه می‌باشد (Renard و همکاران، ۱۹۷۶).

$$R = \sum_{i=1}^j (EI_{30})_i / N \quad (1)$$

که در آن  $(EI_{30})_i$  برابر  $EI_{30}$  برای واقعه بارندگی  $i$  و  $j$  تعداد وقایع بارندگی در  $N$  سال می‌باشد.  $E$  انرژی باران بر حسب ژول بر مترمربع در هر میلی‌متر باران است که از رابطه (۲) به دست می‌آید (Morgan، ۱۹۹۵) و  $I$  حداکثر شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر در ساعت در پایه زمانی ۳۰ دقیقه می‌باشد.

$$E = 11.87 + 8.73 \log_{10} I \quad (2)$$

پس از هر واقعه بارندگی شدید، پدیدار شدن شیارها و رسوب‌گذاری در پای دامنه‌ها، ارتباط حداکثر شدت بارندگی را با این پدیده‌ها تداعی می‌کند. ولی اندازه‌گیری‌های بیش از ۳۰ سال نشان داد که این فرضیه صحیح نبوده و عامل بارندگی مورد استفاده در این مدل می‌باید حاوی اثرات تجمعی ریزش‌های متوسط و شدید باشد (Wischmeier و Smith، ۱۹۷۸). Strauss و همکاران (۱۹۹۹) در مدل European میزان خاک از دست رفته را با میزان، مدت و زمان رسیدن به حداکثر شدت بارندگی مرتبط دانسته‌اند. Lajili (۲۰۰۴) نیز در برآورد رواناب و رسوب توسط مدل KINEROS از حاصل ضرب شدت بارندگی در انرژی آن‌ها استفاده نمود. Morgan (۱۹۹۵) به محققین زیادی اشاره دارد که از روش Marshall و Palmer در سال ۱۹۴۸ (رابطه ۳)، روش Hudson در سال ۱۹۶۵ (رابطه ۴)، روش Torri و Zanchi در سال ۱۹۸۰ (رابطه ۵) و روش Onaga و همکاران در سال ۱۹۸۸ (رابطه ۶) استفاده نموده‌اند.

$$KE = 8.95 + 8.44 \log_{10} I \quad (3)$$

$$KE = 29.8 - 127.5 / I \quad (4)$$

$$KE = 9.81 + 11.25 \log_{10} I \quad (5)$$

$$KE = 9.81 + 10.6 \log_{10} I \quad (6)$$

Nyssen و همکاران (۲۰۰۵) بر اساس آمار ۱۶ ایستگاه باران سنجی در محدوده ای به وسعت ۸۰ کیلومتر مربع در شمال اتیوپی شدت بارش، اندازه قطرات باران و انرژی جنبشی باران را مورد ارزیابی قرار داده و رابطه دیگری را به جای رابطه (۲) پیشنهاد نمودند. Hoyos و همکاران (۲۰۰۵) تغییرات مکانی شاخص فرسایندها باران را به تغییر منطقه‌ای ارتفاع خصوصا در فصل خشک و تاثیر محلی پستی و بلندی خصوصا در فصل مرطوب مربوط می‌دانند.

در ایران نیز تحقیقات نسبتا زیادی بر روی شاخص فرسایندها باران هم در مقیاس محلی و هم در مقیاس منطقه‌ای صورت گرفته که عموما شاخص فرسایندها معادله جهانی فرسایش را قبول داشته و یا مورد استفاده قرار داده‌اند. از جمله این دسته از تحقیقات می‌توان از مختارزاده (۱۳۶۷)، شاهویی (۱۳۷۴)، شریفان و همکاران (۱۳۷۵)، نبوی‌نامقی (۱۳۷۷)، سکوتی‌اسکویی (۱۳۷۸) و یزدانی و همکاران (۱۳۸۴) نام برد. تحقیقاتی نیز در رابطه با شاخص

فورنیه به صورت مجزا و یا در مقایسه با شاخص فرساینده‌گی معادله جهانی فرسایش صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به سپاس‌خواه (۱۳۷۳)، سرخوش (۱۳۷۴)، دادکرمی (۱۳۷۶)، محمدی (۱۳۷۷)، پناهی (۱۳۷۷)، حکیم‌خانی و همکاران (۱۳۸۴) اشاره کرد.

به‌طور کلی در این مقاله سعی بر آن بوده تا بین عواملی چون مقدار و حداکثر شدت بارندگی در پایه‌های زمانی مختلف، با میزان رواناب و رسوب حاصله در انتهای کرت‌های فرسایش مستقر بر سه طبقه شیب با دو نوع شخم در جهت شیب و عمود بر جهت شیب، روابطی به‌دست آورد. سپس نتایج حاصل از این روابط با نتایج حاصل از روابط شش‌گانه فوق که هر یک نتیجه تحقیقات در منطقه‌ای خاص هستند، مقایسه شده و بهترین رابطه جهت استفاده در تحقیقات و مطالعات فرسایش و رسوب منطقه مورد بررسی و مناطق مشابه معرفی می‌شود.

## مواد و روش‌ها

ایستگاه تحقیقاتی پخش سیلاب سهرین- قره چریان در استان زنجان، به‌دلیل داشتن دامنه‌هایی با شیب‌های مختلف، بافت خاک مناسب زراعت دیم و ایستگاه هواشناسی، به‌عنوان مکان تحقیق انتخاب شد. ایستگاه مذکور در اراضی شیب‌دار تحت کشت به‌اجرا در آمد. محل آزمایش در اقلیم نیمه خشک قرار داشته و دارای ۳۵۰ میلی‌متر بارندگی با بافت خاک متوسط می‌باشد. به‌منظور مقایسه نتایج حاصل از اجرای دو تیمار شخم در جهت شیب و عمود بر جهت شیب بر روی میزان فرسایش، رواناب و کمیت و کیفیت بذر گندم حاصل از کشت دیم در سه طبقه شیب ۱۲-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰ درصد، کرت با ابعاد ۱/۸ در ۲۲/۱ متر، در قالب طرح کرت‌های خرد شده به‌روش بلوک‌های کامل تصادفی احداث و نتایج حاصل مورد مقایسه قرار گرفتند.

خصوصیات خاک محل آزمایش از طریق حفر پروفیل و برداشت نمونه از اعماق ۵-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متر مطالعه شد. در اجرای طرح سه عرصه با ابعاد ۵۰ در ۱۰۰ متر در دامنه‌هایی با شیب ۱۲-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰ درصد انتخاب و به‌منظور جلوگیری از ورود دام اطراف آن‌ها حصارکشی گردید. شش کرت با ابعاد فوق‌الذکر در هر عرصه احداث و به‌منظور جمع‌آوری رواناب و رسوب ۱۸ مورد مخازن در انتهای کرت‌ها نصب شد که در هر مورد از دو مخزن ۲۲۰ لیتری متصل به‌هم استفاده به‌عمل آمد. انتخاب ابعاد کرت‌های مشابه با کرت‌های استاندارد در مدل USLE به‌دلایل عدیده‌ای صورت گرفت. اولاً از حداقل شرایط استاندارد در تحقیقات رواناب و رسوب برخوردار باشد. ثانیاً ابعاد کرت‌ها تا حد امکان کوچک بوده تا از پراکندگی صفات مختلف در داخل هر کرت جلوگیری شود. ثالثاً بررسی تیمارها و نتایج حاصل از دقت لازم برخوردار باشد.

طی دو سال متمادی ۲۲ واقعه بارندگی منجر به رواناب اتفاق افتاد که ۱۱ واقعه مربوط به سال اول با کشت گندم (شکل ۱) و ۱۱ واقعه مربوط به سال دوم با شرایط آیش در همه کرت‌ها بود. در بررسی رسوبات موجود در مخازن جمع‌آوری رواناب و رسوب، ذرات ماسه و حتی شن با قطر تا یک سانتی‌متر نیز ملاحظه شد. این ذرات در هنگام هم زدن رواناب و رسوب جهت نمونه‌برداری به‌هیچ وجه به حالت تعلیق در نمی‌آیند و بنابراین در نتیجه نمونه‌برداری تاثیر منفی می‌گذارد. جدا نمودن رسوبات درشت‌دانه از ریزدانه و اندازه‌گیری مقدار آن به‌صورت جداگانه موجب افزایش دقت در نمونه‌برداری از رسوبات درشت‌دانه تعیین می‌شود (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۸۳). بدین منظور، مخزن کوچکی در داخل هر مخزن اصلی قرار داده شد. پس از هر واقعه بارندگی اقدام به تعیین حجم رواناب و توزین رسوبات درشت‌دانه مخازن کوچک و برداشت نمونه آب و رسوب مخازن اصلی (شکل ۲) توسط دستگاه نمونه‌بردار استوانه‌ای ساخت پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری شد (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۸۳).

ثبت وقایع بارندگی چند ماه پس از شروع کار طرح و نصب باران‌نگار در ایستگاه شروع شد که از ۲۴ واقعه بارندگی منجر به رواناب، ۱۹ واقعه با باران‌نگار ثبت شدند. در بین ۱۹ واقعه ذکر شده، پنج واقعه در روزهای متوالی و یا با فاصله کم‌تر از یک هفته حادث شده بودند که جهت حذف دخالت رطوبت قبلی خاک در فرسایش و امکان بررسی رابطه بارندگی و فرسایش خاک، این وقایع حذف شده و در تجزیه و تحلیل دخالت نداشتند (جدول ۱). حداکثر شدت بارندگی در پایه‌های زمانی ۱، ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه از آمار ثبت شده محاسبه شدند.



شکل ۱: کشت پاییزه گندم در سال اول

شکل ۲: استفاده از دستگاه نمونه بردار استوانه‌ای

جدول ۱- مقادیر رواناب و رسوب در کرت‌های فرسایش در طبقه شیب ۲۰-۴۰ درصد

شماره کرت وزن رسوب (g)						شماره کرت مقدار رواناب (L)						رگبار (mm)
۱۸	۱۶	۱۴	۱۷	۱۵	۱۳	۱۸	۱۶	۱۴	۱۷	۱۵	۱۳	
۴/۲۴	۱۲/۵۹	۱/۷۹	۱۲/۸۱	۱۷/۲۵	۱۲/۵۹	۰/۷۸	۰/۲۵	۱/۸۱	۲/۹۴	۳/۸	۲/۷۷	۱۵/۵
۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۹۷	۱/۷۹	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۹۷	۰/۴۶	۱/۲۰	۱/۴۵	۱/۲۳	۴/۵
۰	۰/۰۷	۰	۰	۰/۸۶	۱۰/۸۵	۰	۲/۱	۰	۰	۳/۰۳	۳/۴	۱۸/۵
۲/۱۱	۰	۱/۹۳	۸/۴۹	۰/۶۶	۷۷/۶۵	۱/۳۱	۰/۳۴	۰/۲۹	۱۲	۱/۱۳	۲۲/۸	۱۶
۰	۰/۰۶	۰/۶۳	۰	۰	۱/۷۱	۰	۰	۱/۳۳	۰	۱/۲۸	۱/۳۶	۶
۰	۰/۵	۰/۷۶	۰	۰/۶۴	۱/۴۱	۰	۱/۰۱	۰/۵۳	۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۵/۵
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۵	۰/۱۹	۰	۸/۵	۱/۱۰	۴
۰	۰	۱/۰۱	۰	۰/۱	۶/۴۶	۰	۰	۰	۰/۷۹	۰	۰	۵/۵
۱/۰۲	۰/۲۵	۰/۱۷	۳۹۷/۲۳	۴۰/۶	۴۹/۲	۲/۶۸	۴/۷	۱/۰۳	۲۲/۷	۳۳/۶	۶	۷
۳۴/۲	۱۷۹/۰۲	۲/۷۵	۳۶۳/۳۷	۱۳۳/۶	۹۷/۴	۰	۰	۰	۲۲/۷	۴/۷	۵/۵	۱۱/۵
۰	۱۱/۹۱	۲/۸۹	۷۲۴۸	۱۲۹۲/۱	۳۰۰۹	۰/۲۲	۳/۱۵	۲/۹۳	۸۶/۴	۴۳/۲	۴۳/۲	۱۴
۰/۷۲	۱۷/۹۸	۱۴/۰۷	۱۵۳۵	۱۸۴۴	۷۶۰/۳	۰	۰	۰/۷۷	۵۲/۶	۲۰/۵	۱۵/۴	۹
۰/۸۷	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۸۳	۱/۱۳	۱۵/۴۲	۱/۸۰	۰/۸۷	۱/۱	۱/۶	۱/۹۸	۳۱/۲	۱۲
۰	۰	۰	۴۵۳	۵۰۴	۴۸۰	۰	۰	۰	۴۲/۲	۳۵/۷	۴۲/۲	۱۴/۵

مقادیر  $EI$  طبق معادلات (۲) تا (۶) برای هر یک از پایه های زمانی فوق محاسبه و مجموع هر یک از آنها به عنوان انرژی جنبشی کل<sup>۱</sup> ثبت گردید. حاصل ضرب مقادیر بارندگی در حداکثر شدت بارندگی (Lal, ۱۹۷۶) نیز به عنوان عامل دیگر محاسبه شد. نهایتاً هر دو عامل بارندگی و حداکثر شدت بارندگی به عنوان متغیرهای غیر وابسته مد نظر قرار گرفتند. روابط همبستگی بین متغیرهای غیر وابسته فوق با میزان رواناب و رسوب ناشی از وقایع بارندگی به عنوان متغیر وابسته (جدول ۲)، توسط SPSS نسخه ۱۱ بررسی و ضرایب همبستگی محاسبه گردیدند. همان گونه که در جدول ۳ ملاحظه می شود، با توجه به وجود ۵۴ متغیر غیر وابسته (ردیف‌های ۱ تا ۵۴) و ۱۲ متغیر وابسته

<sup>۱</sup> Total Kinetic Energy (TKE)

(ستون های مقادیر رواناب و رسوب)، تعداد ۶۴۸ رابطه همبستگی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تعداد زیاد روابط، این بررسی ها صرفا به شکل خطی محاسبه شدند. تعداد محدودی از متغیرهای فوق نیز به صورت تصادفی انتخاب و به اشکال غیر خطی و توانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که نتایج مشابهی را نشان دادند.

جدول ۲- شاخص های فرساینده گی باران برای رگبار ۱۸/۵ میلی متر ایستگاه تحقیقات پخش سیلاب سهرین - قره چریان

مقدار	نماد شاخص فرساینده گی	ردیف	مقدار	نماد شاخص فرساینده گی	ردیف	مقدار	نماد شاخص فرساینده گی	ردیف
۱۳۳۰/۴۶	$R_{20}$	۳۱	۳۸۸/۸۱	$KE_8$	۱۶	۲۱	$I_{max 5}$	۱
۱۸۲۲/۵۵	$R_{10}$	۳۲	۲۵۵/۷۱	$KE_9$	۱۷	۱۸	$I_{max 10}$	۲
۵۷/۶۸	$\frac{KE}{d^2}$	۳۳	۲۶۸/۸۷	$KE_{10}$	۱۸	۱۴/۷۴	$I_{max 15}$	۳
۱۳۹/۲۶	$\frac{KE}{d}$	۳۴	۲۵/۰۳	$KE > 25$	۱۹	۱۰/۶۶	$I_{max 30}$	۴
۲۷۷/۶۳	$KE > 1$	۳۵	۱۸۰/۴	$KE > 10$	۲۰	۶/۷۸	$I_{max 60}$	۵
۲۲۸/۸۲	$KE > 2.5$	۳۶	۶۲۷۵/۹۹	$EI_5$	۲۱	۳/۶۵	$I_{max 120}$	۶
۱۰۷/۸۴	$KE > 5$	۳۷	۵۳۷۹/۴۲	$EI_{10}$	۲۲	۰/۷۳	$I^{1.5}$	۷
۱۶۱/۵۱	$\sqrt{AT}$	۳۸	۴۴۰۵/۱۵	$EI_{15}$	۲۳	۰/۶۶	$I^2$	۸
۲۱۰۲/۲۶	$AI_{30}^2$	۳۹	۳۱۸۵/۸۱	$EI_{30}$	۲۴	۲۴۱/۶	$KE_1$	۹
۱۹۷/۲۱	$AI_{30}$	۴۰	۲۰۲۶/۲۵	$EI_{60}$	۲۵	۲۹۸/۸۶	$KE_2$	۱۰
۶۰/۴۰	$A\sqrt{I_{30}}$	۴۱	۱۰۹۰/۸۳	$EI_{120}$	۲۶	۲۸۲/۸	$KE_3$	۱۱
۸۹۳۱۵/۳۱	$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$	۴۲	۱۸/۵	$A$	۲۷	۱۵۵/۵۳	$KE_4$	۱۲
۶۴۱/۳۸	$KE.d$	۴۳	۳۵۵/۹۴	$AI_m$	۲۸	۲۷۶/۸۲	$KE_5$	۱۳
۱۳۷۶/۴۵	$KE.d^2$	۴۴	۴/۳۸	$P_{20}$	۲۹	۲۴۴/۲۱	$KE_6$	۱۴
۴۳۷/۸۱	$KE.\sqrt{d}$	۴۵	۱۰۷۹/۳۶	$R_{30}$	۳۰	۳۵۸/۲۰	$KE_7$	۱۵

## نتایج و بحث

در این تحقیق جهت بررسی شاخص های مختلف فرساینده گی باران، عواملی از قبیل مقدار، حداکثر شدت و انرژی باران در پایه های زمانی مختلف به صورت مجزا و یا ترکیب با هم، با مقادیر رواناب و رسوب خروجی از کرت های فرسایش مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای این کار، بارندگی های دو ساله ایستگاه پخش سیلاب سهرین - قره چریان در استان زنجان توسط باران نگار پایش گردید. در طرحی که در این ایستگاه اجرا شد، دو تیمار شخم در جهت شیب و عمود بر جهت شیب در کرت های استاندارد، در سه طبقه شیب ۱۲-۰، ۲۰-۱۲ و ۴۰-۲۰ درصد و در قالب طرح کرت های خرد شده به روش بلوک کامل تصادفی، با یک سال کشت گندم دیم و یک سال آیش مورد مقایسه قرار گرفتند. روابط بین مقادیر رواناب و رسوب حاصل از ۱۲ واقعه بارندگی با مقادیر بارندگی، حداکثر شدت باران در پایه های زمانی ۱، ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه، انرژی و شاخص فرساینده گی باران به روش های مختلف و به کمک نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

پس از بررسی روابط همبستگی بین متغیرهای وابسته و غیر وابسته، ضرایب همبستگی در جدول ۳ ارائه شدند. بررسی نتایج به دست آمده نشان می دهد که در میان ۴۵ شاخص فرساینده گی مورد مطالعه، شاخص فرساینده گی  $I^2$  یا به عبارتی مقدار شدت متوسط رگبار به توان دو، با ضریب همبستگی ۰/۹۰۶ و سطح احتمال معنی داری ۹۹ درصد در

میان سایر شاخص‌ها از بالاترین مقدار همبستگی برخوردار است و باید آن را به‌عنوان بهترین شاخص فرساینده برای این منطقه در نظر گرفت و در واقع این بدان مفهوم است که در این منطقه و ناحیه جغرافیایی، کارایی شاخصی از جنس شدت بارش به مراتب بالاتر از کارایی سایر شاخص‌های فرساینده باران است.

جدول ۳- ضرایب همبستگی میان تلفات خاک و شاخص‌های مختلف فرساینده باران

ردیف	شاخص فرساینده	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (درصد)	ردیف	شاخص فرساینده	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (درصد)
۱	$I_{\max 5}$	۰/۵۹۵	۰/۰۱	۲۴	$EI_{30}$	۰/۴۶۲	۰/۰۱۳
۲	$I_{\max 10}$	۰/۵۲۹	۰/۰۴	۲۵	$EI_{60}$	۰/۶۰۱	۰/۰۰۱
۳	$I_{\max 15}$	۰/۵۰۰	۰/۰۷	۲۶	$EI_{120}$	۰/۸۱۸	۰/۰۰۰
۴	$I_{\max 30}$	۰/۴۵۷	۰/۰۱۴	۲۷	$A$	۰/۲۴۱	۰/۲۱۷
۵	$I_{\max 60}$	۰/۶۰۸	۰/۰۱	۲۸	$AI_m$	۰/۵۷۵	۰/۰۰۱
۶	$I_{\max 120}$	۰/۶۰۸	۰/۰۱	۲۹	$P_{20}$	۰/۴۷۹	۰/۰۱۰
۷	$I^{1.5}$	۰/۸۹۳	۰/۰۰۰	۳۰	$R_{30}$	۰/۵۲۷	۰/۰۰۴
۸	$I^2$	۰/۹۰۶	۰/۰۰۰	۳۱	$R_{20}$	۰/۵۲۶	۰/۰۰۴
۹	$KE_1$	۰/۴۱۵	۰/۰۲۸	۳۲	$R_{10}$	۰/۵۴۴	۰/۰۰۴
۱۰	$KE_2$	۰/۴۳۰	۰/۰۲۲	۳۳	$\frac{KE}{d^2}$	۰/۰۱۴	۰/۹۴۴
۱۱	$KE_3$	۰/۴۶۶	۰/۰۱۲	۳۴	$\frac{KE}{d}$	۰/۱۹۹	۰/۳۰۹
۱۲	$KE_4$	۰/۵۵۲	۰/۰۰۲	۳۵	$KE > 1$	۰/۴۶۱	۰/۰۱۳
۱۳	$KE_5$	۰/۴۶۱	۰/۰۱۴	۳۶	$KE > 2.5$	۰/۴۹۲	۰/۰۰۸
۱۴	$KE_6$	۰/۴۵۳	۰/۰۱۶	۳۷	$KE > 5$	۰/۶۰۰	۰/۰۰۱
۱۵	$KE_7$	۰/۴۰۳	۰/۰۳۳	۳۸	$\sqrt{AT}$	۰/۳۲۷	۰/۰۸۹
۱۶	$KE_8$	۰/۳۸۸	۰/۰۴۱	۳۹	$AI_{30}^2$	۰/۳۵۴	۰/۰۶۵
۱۷	$KE_9$	۰/۳۴۱	۰/۰۷۶	۴۰	$AI_{30}$	۰/۳۷۷	۰/۰۴۸
۱۸	$KE_{10}$	۰/۴۴۴	۰/۰۱۸	۴۱	$A\sqrt{I_{30}}$	۰/۳۵۱	۰/۰۶۷
۱۹	$KE > 25$	-	-	۴۲	$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$	۰/۴۵۳	۰/۰۱۵
۲۰	$KE > 10$	۰/۱۵۷	۰/۰۸۲	۴۳	$KE.d$	۰/۶۳۶	۰/۰۰۰
۲۱	$EI_5$	۰/۵۸۰	۰/۰۰۱	۴۴	$KE.d^2$	۰/۷۷۱	۰/۰۰۰
۲۲	$EI_{10}$	۰/۵۱۸	۰/۰۰۵	۴۵	$KE.\sqrt{d}$	۰/۵۴۰	۰/۰۰۳
۲۳	$EI_{15}$	۰/۴۹۳	۰/۰۰۸				

بروز چنین پدیده‌ای در واقع نشان می‌دهد که مقادیر تلفات خاک ارتباط معنی‌دارتری با تغییرات شدت متوسط رگبارهای این ناحیه دارند. از سوی دیگر همبستگی شاخص‌های مبتنی بر استفاده منفرد از مقدار انرژی جنبشی به مراتب کمتر بوده، اما با دخالت مقدار شدت حداکثر در پایه‌های زمانی مختلف، مقادیر ضرایب همبستگی از افزایش نسبی برخوردار شدند که این مساله موید کارکرد بهتر این تیپ شاخص‌ها نسبت به شاخص‌های منفرد شدت حداکثر بارش و نیز انرژی جنبشی به‌تنهایی می‌باشد. بررسی مقادیر انرژی جنبشی رگبارها با تاکید بر جداسازی بخش

فرساینده و غیر فرساینده رگبارها در این منطقه نشان داد که در میان شاخص‌های  $KE > 2.5$ ،  $KE > 5$  و  $KE > 7$ ، بالاترین میزان همبستگی مربوط به حد آستانه شدت ۵ میلی‌متر در ساعت است که با ضریب همبستگی ۰/۶۰ و سطح معنی‌داری ۹۹ درصد بالاترین همبستگی را به‌خود اختصاص داده است. بروز چنین مساله‌ای در این منطقه، می‌تواند عمدتاً تحت تاثیر نوع الگوی بارش‌های آن باشد.

### منابع مورد استفاده

۱. پناهی، ج. ۱۳۷۷. تعیین شاخص فرسایش‌زایی باران در جمهوری اسلامی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، دانشکده تحصیلات تکمیلی، ۲۲۱ صفحه.
۲. حکیم‌خانی، ش.، م.ج. مهدیان، م. عرب خدری و د. قربان پور. ۱۳۸۴. بررسی فرسایش‌زایی باران در سطح کشور. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۶ تا ۹ شهریور، تهران.
۳. دادکرمی، ع. ۱۳۷۶. تعیین شاخص فرسایش‌زایی باران در حوضه دریاچه ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، ۳۳۸ صفحه.
۴. سپاس‌خواه، ع.ر. ۱۳۷۳. تخمین ضریب فرسایش‌زایی باران در ایران. چهارمین کنگره علوم خاک ایران، ۶-۹ شهریور، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۱۹ صفحه.
۵. سرخوش، پ. ۱۳۷۴. تعیین شاخص فرسایش‌زایی باران در استان‌های فارس، بوشهر و کهگیلویه و بویراحمد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۸۹ صفحه.
۶. سکوتی‌اسکویی، ر. ۱۳۷۸. محاسبه شاخص فرسایش‌زایی باران (R) در مناطق مرکزی استان آذربایجان غربی. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۴۳، صفحه ۱۷-۱۱.
۷. شاهویی، ص. و رفاهی، ج. ۱۳۷۵. استفاده از جداول شدت، مدت و دوره برگشت برای محاسبه شاخص فرسایش‌زایی باران و مقایسه آن با سایر روش‌های موجود. اولین سمینار ملی فرسایش و رسوب، نور، صفحه ۲۷۳-۲۶۵.
۸. شریفان، ج. ۱۳۷۵. مطالعه توان فرسایش‌زایی باران در مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی.
۹. محمدی، ج. ۱۳۷۷. تهیه نقشه فرسایش‌زایی باران در ایران با استفاده از شاخص فورنیه و روش آماری کریجینگ. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره سوم و چهارم، صفحه ۴۴-۳۵.
۱۰. مختارزاده، م. ۱۳۶۷. تعیین فاکتور فرسایش‌زایی (R) فرمول ویشمایر برای ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۱. منصورفر، ک. ۱۳۷۴. روش‌های آماری. انتشارات دانشگاه تهران (۲۰۴۵)، چاپ سوم، ۳۹۴ صفحه.
۱۲. نبوی‌نامقی، غ. ۱۳۷۷. تعیین شاخص فرسایش‌زایی باران در استان خراسان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۶ صفحه.
۱۳. نیک‌کامی، د.، م. عرب‌خدری، پ. رزم‌جو و م. احرار. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت تعلیق رسوب در مخازن کرت‌های فرسایش و تعیین دقت نمونه‌برداری از آن‌ها. گزارش طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۱ صفحه.
۱۴. یزدانی، م.ر.، س. چاوشی، ک. شیرانی و ذ. اسکندری. ۱۳۸۴. بررسی شاخص فرسایش‌زایی باران در مدل USLE (مطالعه موردی: استان اصفهان). سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۶ تا ۹ شهریور، تهران.
1. Hoyos, N., P.R. Waylen and A. Jaramillo. 2005. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology*, 314(1-4):177-191.
2. Lajili, G.L. 2004. Use of the KINEROS model for predicting runoff and erosion in a Tunisian semi-arid region. *The Revue des Sciences de l'Eau/ Journal of Water Science*, 17(2):227-244.
3. Lal, R. 1976. Soil erosion on Alfisols in western Nigeria, III: Effects of rainfall characteristics. *Geoderma*, 16(5):389-401.
4. Laws, J.O. 1940. Recent studies in raindrops and erosion. *Agric. Eng.*, 21:431-433.
5. Meyer, L.D. 1965. Simulation of rainfall for soil erosion research. *Transaction of the Asia*, 63-65.
6. Morgan, R.P.C. 1995. *Soil erosion and conservation*. Longman Group UK Limited, 198 pp.
7. Nyssen, J., J. Poesen, J. Moeyersons, J. Deckers, H. Mitiku and A. Lang. 2004. Human impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands-a state of the art. *Earth Science Reviews*, 64:273-320.
8. Nyssen, J., H. Vandenreyken, J. Poesen, J. Moeyersons, J. Deckers, H. Mitiku, C. Salles and G. Govers. 2005. Rainfall erosivity and variability in the Northern Ethiopian Highlands. *Journal of Hydrology*, 311:172-187.
9. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool and D.C. Yoder. 1976. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook No. 703*, 404 pp.

10. Strauss, P., F. Konency and W.E.H. Blum. 1999. Rainfall input generation for the European soil erosion model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 3:213-221.
11. Toy, T.J., G.R. Foster and K.G. Renard. 2002. *Soil erosion: Processes, prediction, measurement, and control*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 338 pp.
12. Wischmeier W.H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky mountains- A guide for selection of practices for soil and water conservation. *Agricultural Handbook No. 282*, 47 pp.
13. Wischmeier W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses- A guide to conservation planning, USDA, *Agricultural Handbook*, No. 537, 58 pp.



## Investigating and introducing some new rainfall erosivity indexes

**Davood Nikkami**<sup>1</sup>, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

**Peyman Razmjoo**, MSc, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

**Farzad Bayat Movahed**, Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Zanjan, Iran

**Received:** 06 September 2009

**Accepted:** 28 February 2010

### Abstract

The amount of water erosion is basically related to rainfall erosivity and its consequent runoff. In soil erosion and sediment yield models, intensity and energy of rainfall are mostly considered. In this research, some parameters such as the amount of rainfall, maximum intensity and energy in different basic times are correlated to the amount of runoff and sediment outflow from erosion plots to investigate rainfall erosivity index. For this purpose two years of precipitations of Sohrain-Gharacharian flood spreading research station were monitored by recording raingauge. During 2003-2004 period, two plough treatments of parallel and perpendicular to slope direction on three slope classes of 0-12, 12-20, and 20-40 percent with three replicates and randomized complete block design were studied under regional wheat planting and fallow conditions in 1.8x22 sq. meter erosion plots. The correlation between the amounts of runoff and sediment, as dependent variables, resulted from 12 rainfall events and the amounts of rainfall, maximum 1, 5, 15, 30, 60 and 120 minutes of rainfall intensity, rainfall energy and rainfall erosion index, as independent variables, computed by different methods were analyzed with the SPSS V11. Two variables of the amount of rainfall and the maximum rainfall intensity in different base times had the maximum correlation with the amount of runoff and sediment at the levels of 99 to 95 percent.

**Key words:** Erosion plot, Rainfall intensity, Runoff, Sediment, Zanjan

---

<sup>1</sup> nikkami@scwmri.ac.ir