

تعیین شاخص مناسب فرسایندهی باران در اقلیم خشک سرد مرکزی ایران، مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات مرتع نیر-یزد

جلال برخوردار^{۱*}، داود نیک کامی^۲، محمد باقر صمدی^۳ و منیرالسادات طباطبایی زاده^۴
^{۱،۲،۳} مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد، ^۴ استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ^۳ مربی، مرکز علمی-کاربردی جهاد
کشاورزی ملامدرا

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۲

چکیده

فرسایندهی باران یکی از مهم ترین عوامل در فرسایش خاک می باشد. این عامل معمولاً در قالب شاخص های فرسایندهی که مبتنی بر خصوصیات بارندگی است، بیان می شود. در این پژوهش پس از احداث ۱۲ کرت رواناب و رسوب در ایستگاه تحقیقات مرتع نیر در استان یزد، مقادیر رواناب و رسوب هر یک از کرت ها در ۱۲ واقعه 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 دیجیتالی واقع در محل ایستگاه، ثبت و مورد استفاده واقع شدند. سپس، با توجه به مرور منابع گسترده در سطح جهان، نهایتاً ۶۱ شاخص فرسایندهی باران شناسایی شدند. پس از استخراج عوامل مورد نیاز، مقادیر هر یک از شاخص های فرسایندهی باران برای هر یک از رگبارها تعیین شدند. در ادامه جهت تعیین بهترین شاخص فرسایندهی باران، همبستگی بین هر یک از شاخص ها و مقادیر تلفات خاک تعیین شد. نتیجه حاکی از آن بود که در منطقه مورد مطالعه شاخص های فرسایندهی باران به ترتیب RI_{60} ، RPI_{30} ، RPI_{60} ، PI_{30} ، PI_{60} با ضرایب همبستگی 0.73 ، 0.713 ، 0.703 ، 0.664 و 0.664 بالاترین مقدار همبستگی را با مقادیر تلفات خاک داشتند. به طور کلی، در این شرایط اقلیمی، غلبه شاخص های مبتنی بر شدت بارش که به صورت حاصل ضرب مقدار کل بارش در مربع بیشینه شدت های ۶۰ و ۳۰ دقیقه ای بارش، نسبت به سایر شاخص های مورد مطالعه مشاهده می شود.

واژه های کلیدی: استان یزد، تلفات خاک، شدت بارش، کرت استاندارد، همبستگی

مقدمه

شدت زیاد اتفاق می افتند، عامل اصلی ایجاد فرسایش و تولید رسوب می باشند (Khorsandi و همکاران، ۲۰۱۰). شاخص هایی به منظور بیان قدرت فرسایندهی باران به عنوان تابعی از خصوصیات فیزیکی باران از قبیل انرژی جنبشی، شدت بارندگی و مقدار باران پیشنهاد شده است. شاخص I_{30} یا بیشینه شدت بارش

در بین عوامل اقلیمی، باران به عنوان یکی از مهم ترین عوامل فرساینده خاک مطرح است. برآورد فرسایش ناشی از باران به منظور پیش بینی فرسایش خاک و بهبود عملیات حفاظت خاک سودمند است. فرسایندهی باران عاملی مهم در ایجاد هدر رفت خاک و تولید رسوب بوده و رخدادهایی از بارندگی که با

پژوهشی دیگر که توسط Khorsandi و همکاران (۲۰۱۰)، در حوزه آبخیز خزر با دو اقلیم نیمه‌خشک و خیلی مرطوب انجام شد، نتایج همبستگی بین شاخص‌های فرساینده‌گی باران نشان داد که در اقلیم خیلی مرطوب شاخص EI_{10} و در اقلیم نیمه‌خشک شاخص EI_{30} در سطح احتمال ۹۹ درصد، شاخص کاربردی این دو اقلیم خواهند بود. نتایج تحقیقات دیگر در اقلیم تروپیکال حوزه کوهستانی دوسکوبراداس کلمبیا با متوسط بارندگی ۲۶۰۰ تا ۳۲۰۰ میلی‌متر و در شش ایستگاه مورد بررسی نشان داد که EI_{30} بیشترین همبستگی را با تلفات خاک نشان می‌دهد (Hoyos و همکاران، ۲۰۰۵). در اقلیم معتدل نیز به‌منظور تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی باران در منطقه یواسین کنیا با استفاده از کرت‌های رواناب-رسوب نشان داده شد که شاخص EI_{30} با ضریب ۰/۸۸، بیشترین همبستگی را با رسوب خروجی کرت‌ها داشته است. از این رو، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص در مقایسه با سایر شاخص‌های موجود معرفی شد (Kariaga، ۲۰۰۲).

تاکنون تحقیقات مختلفی برای انتخاب بهترین شاخص فرساینده‌گی باران در مناطق شمال و غرب کشور صورت گرفته است. ولی در مناطق جنوب شرق ایران با اقلیم خشک تحقیقات چندانی وجود ندارد. لذا هدف اصلی از اجرای این پژوهش، تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی باران برای منطقه جغرافیایی استان یزد با اقلیم خشک سرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای طرح در ایستگاه تحقیقات مرتع نیر با مختصات جغرافیایی به طول $۵۴^{\circ} ۱۱' ۴۹''$ تا $۵۶^{\circ} ۱۲' ۵۴''$ شرقی و به عرض $۲۰' ۳۱''$ تا $۲۳' ۲۰''$ شمالی و در حوزه آبخیز پشتکوه از توابع شهرستان تفت واقع در استان یزد قرار گرفته است. ارتفاع حوضه ۲۱۰۰ متر از سطح دریا با متوسط بارندگی سالانه ۱۵۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۱۴° درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه در تقسیم‌بندی آمبرژه در ردیف منطقه خشک سرد قرار می‌گیرد. از دید قلمرو اقلیم حیاتی ایران، دشت مورد مطالعه جزء زیر منطقه استپی محسوب می‌شود. خاک

ثابت شده در مدت زمان ۳۰ دقیقه که در ایالات متحده آمریکا تعیین شده، عمومی‌ترین آن‌ها است (Wischmeier و Smith، ۱۹۷۸). بررسی‌ها در سطح دنیا نشان می‌دهند که استفاده از یک شاخص خاص نظیر شاخص EI_{30} معادله USLE در همه نقاط از اعتبار کافی برخوردار نبوده و ضروری است، با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه، بهترین شاخص فرساینده‌گی باران تعیین و مورد استفاده قرار گیرد. از آنجایی که در بیشتر قسمت‌های ایران داده‌های باران‌نگار مناسب وجود ندارد و ضروری است که از شاخص‌های بارندگی برای محاسبه فرساینده‌گی استفاده شود. در بیشتر مطالعات از شاخص بارندگی I_{30} برای ارزیابی فرساینده‌گی بارش استفاده شده است. البته تحقیقات انجام شده در مناطقی از ایران و جهان نشان داده است، شاخص‌های مناسب‌تر دیگری برای آن‌ها وجود دارد (Sukhanovski و همکاران، ۲۰۰۲؛ Hemmati، ۲۰۰۷؛ Khorsandi و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج پژوهشی در کشور اسپانیا نشان داد که شاخص‌هایی چون مقدار کل بارش، I_{30} و I_{60} بیشترین همبستگی را با رواناب رسوب در شیب‌های مختلف منطقه داشته‌اند (Nicolau، ۲۰۰۲). همچنین، نتایج پژوهشی در حوضه تکاله مالزی بیشترین رابطه خطی بین عوامل بارش و فرسایش پاشمانی را با I_{60} و EI_{60} تعیین نموده است (Sharifah، ۲۰۰۳). Abu Hammad و همکاران (۲۰۰۵) مشخص نمودند که در اقلیم مدیترانه‌ای کشور اردن شاخص‌های انرژی جنبشی بارش دارای همبستگی به‌مراتب بهتری با تلفات خاک نسبت به I_{30} و I_{60} دارد. همچنین، Yang و همکاران (۲۰۱۰)، مشخص نمودند که I_{60} بیشترین همبستگی را با تلفات خاک در مناطق شیب‌دار و بایر کشور چین داشته است. همچنین، در پژوهشی Hemmati (۲۰۰۷)، با هدف تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی باران از بین ۴۸ شاخص، از آمار ۱۵ واقعه بارش-رسوب کرت‌های استاندارد در استان‌های کرمانشاه، مرکزی و زنجان استفاده نمود. نتایج نشان داد که شاخص‌های EI_{60} ، $KE > 5$ و I^2 می‌تواند به‌عنوان بهترین شاخص‌های فرساینده‌گی باران که بیشترین همبستگی را با تلفات خاک به‌ترتیب در مناطق کرمانشاه، مرکزی و زنجان داشته، معرفی شود. در

منطقه از تشکیلات خرد شده گرانیت شیرکوه با بافت شنی می‌باشد. کاربری اراضی ایستگاه مرتع استپی قرق شده با پوشش گونه‌های مرتعی دم اسب *Stipa barbata*، درمنه *Artemisia sieberi* و شور شرقی *Salsola rigida* و غیره می‌باشد. نتایج آزمایشات خاک محدوده طرح تا عمق ۶۰ سانتی‌متری در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات خاک درون ایستگاه تحقیقات مرتع نیر

عمق خاک (سانتی‌متر)		خصوصیات
۳۰-۶۰	۰-۳۰	
۲۰/۷۷	۱۴/۵۲	درصد سنگریزه
۲۰/۶۶	۱۵/۰۵	درصد رس
۸/۳۹	۱۴/۶۲	درصد لوم
۷۰/۸۵	۷۰/۳۵	درصد شن
۲۸/۶۳	۱۹/۶۶	درصد رطوبت اشباع
۱۵/۷۶	۱۴/۵۲	درصد آهک
۸/۲۱	۸/۰۲	اسیدیته
۰/۷۲	۰/۳۴	هدایت الکتریکی (ds/m)
۴/۹۵	۰/۷۷	یون سدیم (me/lit)
۰/۳۴	۰/۶۷	یون پتاسیم (me/lit)
۰/۷۴	۱/۷۴	یون کلسیم (me/lit)
۱/۳۴	۱/۱۴	یون منیزیم (me/lit)
۴/۴۰	۳/۰۵	یون کلر (me/lit)
۰	۰	یون کربنات (me/lit)
۲/۱۵	۲/۱۶	یون بی‌کربنات (me/lit)
۳/۴۶	۰/۲۷	یون سولفات (me/lit)
۳/۷۹	۰/۶۹	نسبت جذب سطحی سدیم (SAR)
۳/۵۹	۰/۱۹	درصد سدیم قابل تبادل (ESP)

سطح کرت‌ها ۳/۰۷ گرم در اثر رگبارهای حادث شده در این دوره به‌دست آمد.

در این پژوهش با ثبت اطلاعات مربوط به مقدار، شدت و مدت رگبارها و تعیین مقادیر رواناب و رسوب ناشی از هر واقعه بارش، تعداد ۱۲ واقعه با ۱۲ تکرار مورد استفاده قرار گرفت. از ۱۲ واقعه بارندگی ثبت شده در ایستگاه مرتع نیر، یک واقعه در روزهای متوالی و یا با فواصل کمتر از یک هفته حادث شده بودند که به‌منظور حذف اثر رطوبت قبلی خاک بر رسوب حاصل از این وقایع در تجزیه و تحلیل داده‌ها وارد نشدند (Morgan, ۲۰۰۵). لذا در این پژوهش ۱۳۲ جفت داده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

برای تعیین مقادیر رواناب و رسوب ناشی از هر رگبار، کرت‌های رواناب و رسوب در کاربری غالب منطقه (مرتع استپی) و شیب متوسط هشت درصد در ۱۲ تکرار نصب شدند. این کرت‌ها در ابعاد ۱/۸ در ۲۲/۱ متر ساخته شده و جهت جمع‌آوری رواناب و رسوب، از بشکه‌های ۲۲۰ لیتری استفاده شد. همگام با پایش مقادیر رواناب و رسوب کرت‌ها، اطلاعات شدت رگبارها با استفاده از یک دستگاه باران‌نگار ثبت شدند. جدول ۲، خصوصیات رگبارها و متوسط میزات تلفات خاک در کرت‌های دوازده‌گانه را نشان می‌دهد. متوسط ارتفاع بارش رگبارها در این دوره ۱۱/۰۵ میلی‌متر و با شدت متوسط ۱/۲ میلی‌متر بر ساعت محاسبه شده است. همچنین، متوسط تلفات خاک از

جدول ۲- خصوصیات رگبارها و متوسط میزات تلفات خاک در پلات‌ها

مقدار بارش (میلی‌متر)	مقدار تلفات خاک (گرم)	شدت بارش (میلی‌متر در ساعت)	تاریخ وقوع	واقعه
۷	۵/۵	۰/۶۹	۸۷/۱۲/۱۴	۱
۱۰	۳/۱	۱/۱۷	۸۸/۱/۱۱	۲
۸	۱/۲	۰/۳۴	۸۸/۱/۲۷	۳
۱۴	۲/۹۲	۰/۵۷	۸۸/۲/۱۱	۴
۶	۵/۳۵	۱/۷۸	۸۸/۹/۲۸	۵
۵/۵	۱/۴۸	۱/۲۱	۸۸/۱۱/۱۹	۶
۱۱/۵	۱/۵۷	۱/۳۷	۸۹/۱۰/۲۵	۷
۲۳	۴/۴	۱/۲۵	۸۹/۱۱/۱۷	۸
۱۰	۰/۷۴	۲	۸۹/۱۲/۳	۹
۲۰	۲/۸۵	۲/۲۰	۸۹/۱۲/۲۲	۱۰
۶/۵	۴/۶۸	۰/۵۸	۹۰/۱/۲۰	۱۱
۱۱/۰۵	۳/۰۷	۱/۲	میانگین	

تلفات خاک به‌عنوان متغیر وابسته و هر شاخص فرساینده‌گی به متغیر مستقل قلمداد شده است. البته اغلب پدیده‌های طبیعی از جمله تلفات خاک از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. در نهایت، رابطه همبستگی بین شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر شدت بارندگی با تلفات خاک و رسوب خروجی کرت‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و بهترین شاخص فرساینده‌گی باران برای منطقه معرفی شد.

طبقه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌گی باران: به‌طور کلی، شاخص‌های فرساینده‌گی باران را می‌توان در قالب دو دسته، شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی تقسیم‌بندی کرد. شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی و انرژی جنبشی بارش در هشت گروه زیر قابل تفکیک و ارائه هستند (Morgan, 2005).

۱- شاخص‌های حداکثر شدت بارش در پایه‌های

مختلف زمانی: در این گروه شاخص‌های I_5 ، I_{10} ، I_{15} ، I_{30} ، I_{60} و I_{120} قرار می‌گیرند. برای تعیین این شاخص‌ها بعد از دریافت اطلاعات رگبارها و با بررسی روند تغییرات ارتفاع بارش در زمان و با توجه به شیب نمودار شدت بارندگی، به ازاء زمان‌های پنج، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه، بیشینه شدت بر حسب میلی‌متر بر ساعت محاسبه شد.

جهت تعیین شدت‌های بیشینه بارش در پایه‌های زمانی مختلف نیاز به مقادیر ارتفاع بارش در هر دقیقه از رگبار می‌باشد. اطلاعات باران‌نگارها به‌علت ثبت تراکمی مقادیر بارش، به تنهایی قادر به پاسخ نیازها نمی‌باشند. لذا، در این بخش از مطالعات با استفاده از زبان برنامه‌نویسی و ویژوال بیسیک در محیط نرم‌افزار Excel، برنامه‌ای تهیه شد تا با انجام عمل درون‌یابی، این امکان را فراهم سازد تا مقدار بارش به ازاء هر دقیقه از زمان تعیین شود. این برنامه به گونه‌ای 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، ترتیبی اتخاذ شد تا مقدار بیشینه شدت با استفاده از قابلیت معادله‌نویسی در محیط نرم‌افزار بارش در پایه‌های زمانی مختلف محاسبه و ارائه شود. این محاسبات عملاً ملاک بررسی‌های بعدی واقع شد. سپس با توجه به مرور منابع گسترده در سطح جهان، نهایتاً ۶۱ شاخص فرساینده‌گی باران شناسایی شدند. به لحاظ گستردگی تعداد شاخص‌های مورد بررسی، جهت تسهیل و افزایش دقت محاسبه هر یک از شاخص‌های فرساینده‌گی باران اقدام به طبقه‌بندی آن‌ها شد و 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 شدند.

شاخص‌های $\sqrt{P} \times I_{60}^2$ ، $\sqrt{P} \times I_{60}$ ، $P \times \sqrt{I_{60}}$ ، $P \times I_{60}^2$ ، $\sqrt{P} \times I_{30}^2$ ، $\sqrt{P} \times I_{30}$ ، $P \times I_{60}$ ، $P \times I_{60}^2$ ، $P \times I_{30}$ و $P \times I_{7.5}$ در این گروه قرار می‌گیرند. در این روابط P مقدار کل بارش بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

۶- شاخص‌های فرسایندهای گروه **Stanescu**: شاخص‌های R_{10} ، R_{20} و R_{30} در این گروه قرار می‌گیرند. این شاخص‌ها حاصل ضرب $\sum(P.I)$ در بیشینه شدت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه‌ای بارش می‌باشند. $\sum(P.I)$ نیز مجموع حاصل ضرب مقادیر جزئی بارش در شدت‌های مربوطه است.

۷- شاخص‌های **Roose** و **Neering**: شامل شاخص‌های $I^{1.5}$ و I^2 می‌باشند. در این شاخص‌ها I مجموع شدت‌های جزئی بارش به توان $1/5$ و دو می‌باشد.

۸- سایر شاخص‌ها: شامل $(\sum(P.I)).d$ ، $d \times I$ ، $d^2 \times P$ ، $d \times P$ ، $\sum(P.I)$ ، $\sqrt{P.t}$ و P است. در شاخص‌های مذکور، d قطر میانه قطرات باران (میلی‌متر)، I شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)، P مقدار کل بارش (میلی‌متر) و t مدت زمان کل بارش (ساعت) می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول ۳، مقادیر کمینه، بیشینه، متوسط شاخص‌های فرسایندهای باران و ضریب همبستگی آن‌ها را با مقادیر تلفات خاک نشان می‌دهد. شاخص‌های مبتنی بر شدت بارش (گروه پنجم) که به صورت شاخص حاصل ضرب مقدار کل بارش در مربع بیشینه شدت‌های ۶۰ و ۳۰ دقیقه‌ای بارش می‌باشد، به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۷۳ و ۰/۷۱۳ و همچنین، به صورت شاخص حاصل ضرب جذر مقدار کل بارش در مربع بیشینه شدت‌های ۶۰ و ۳۰ دقیقه‌ای بارش به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۷۰۳ و ۰/۶۹۴ که همگی در سطح یک درصد معنی‌دار هستند. شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی (گروه سوم) که به صورت شاخص حاصل ضرب انرژی جنبشی کل در بیشینه شدت ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه‌ای بارندگی می‌باشد، به-

۲- شاخص‌های انرژی جنبشی کل بارش: در این گروه شاخص‌های KE_1 ، KE_2 ، KE_3 ، KE_4 ، KE_5 ، KE_6 ، KE_7 ، KE_8 ، KE_9 ، KE_{10} ، KE_{11} ، KE_{12} ، KE_{13} و $\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$ قرار می‌گیرند. در میان شاخص‌های محاسبه شده، از ۱۳ رابطه مختلف انرژی جنبشی استفاده شد. شاخص $\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$ نیز از حاصل ضرب مقادیر انرژی جنبشی بارش‌های جزئی در شدت‌های مربوطه به دست آمد. لازم به ذکر است که برای محاسبه سایر شاخص‌هایی که انرژی جنبشی کل یکی از عوامل تشکیل‌دهنده آن‌ها بود، از رابطه پیشنهادی Wischmeier و Smith (۱۹۸۷) استفاده شد.

$$E = 11.87 + 8.73 \log_{10} I \quad (1)$$

که در آن، E انرژی جنبشی رگبار (ژول بر مترمربع میلی‌متر) و I شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد.

۳- شاخص‌های حاصل ضرب انرژی جنبشی کل بارش در حداکثر شدت بارش در پایه‌های مختلف زمانی: این شاخص‌ها شامل EI_5 ، EI_{10} ، EI_{15} ، EI_{30} ، EI_{60} و EI_{120} می‌باشند که حاصل ضرب انرژی جنبشی کل محاسبه شده از رابطه Wischmeier و Smith (۱۹۸۷) در بیشینه شدت بارش بر حسب میلی‌متر بر ساعت در پایه‌های زمانی پنج، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه می‌باشند.

۴- شاخص‌های مرکب از قطر میانه قطرات باران و انرژی جنبشی کل بارش: این شاخص‌ها شامل

$$\frac{KE}{d}، \frac{KE}{d^2}، \frac{KE}{\sqrt{d}}، KE \times d، KE \times d^2 و KE \times \sqrt{d}$$

می‌باشند که KE در آن‌ها انرژی جنبشی Wischmeier و Smith (ژول بر مترمربع میلی‌متر) و d قطر میانه قطرات باران (میلی‌متر) است که از رابطه پیشنهادی Laws و Parson (۱۹۴۳) برای محاسبه آن استفاده شد.

$$D_{50} = 1.238 \times I^{0.182} \quad (2)$$

که در آن، D_{50} قطر میانه قطرات بارش (میلی‌متر) و I شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد.

۵- شاخص‌های مرکب از مقدار کل بارش و حداکثر شدت بارش در پایه‌های مختلف زمانی:

ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۷۰۶، ۰/۶۵۵ و ۰/۶۳۸ که در سطح یک درصد معنی‌دار هستند. همچنین، شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی به صورت

شاخص‌های Stanesco تیپ‌های I، II و III (گروه ششم) به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۶۹۴ و ۰/۶۸۴ و ۰/۶۵۳ که در سطح یک درصد معنی‌دار هستند.

جدول ۳- ضرایب همبستگی و مقادیر شاخص‌های فرساینده باران در ایستگاه مرتع نیر

ردیف	گروه شاخص	نام شاخص فرساینده	کمینه	متوسط	بیشینه	ضریب همبستگی
۱		I ₆₀	۲/۲۳	۶/۸۲۸	۲۱/۱۹	-۰/۵۳۰
۲		I ₃₀	۲/۵۲	۱۱/۷۹	۴۱/۲۸	-۰/۵۰۳
۳		I ₂₀	۲/۷۸	۱۶/۵۱۰	۶۱/۲۹	-۰/۴۹۰
۴	گروه اول	I ₁₅	۲/۸۹	۲۱/۰۸۰	۸۱/۴۴	-۰/۴۸۵
۵		I ₁₀	۳/۰۹	۳۰/۲۲۹	۱۲۱/۷۴	-۰/۴۷۵
۶		I _{7.5}	۳/۱۵	۳۹/۴۳۴	۱۶۲/۰۴	-۰/۴۷۰
۷		I ₅	۳/۱۵	۵۷/۸۷	۲۴۲/۶۳	-۰/۴۶۶
۸		KE ₅	۹/۰۸	۲۶/۷۲۲	۷۷/۳۰	-۰/۶۲۰
۹		EI ₁₀	۳۵۴/۹۴	۳۴۴۵/۱۵۲	۱۵۵۷۸/۵۱	-۰/۶۰۳
۱۰		KE ₁₀	۱۰/۴۰	۱۰/۸۸۸	۱۱/۲۹	-۰/۴۷۹
۱۱		KE ₁	۳۸/۱۱	۱۱۴/۶۴	۳۶۹/۰۵	-۰/۲۷۰
۱۲		Zanchi and Torri	۳۸/۹۴	۱۲۲/۲۲۶	۳۴۹/۵۳	-۰/۲۶۷
۱۳		Onaga, Shirai and Yoshinaga	۳۹/۸۰	۱۲۱/۴۲۵	۳۴۲/۳۷	-۰/۲۶۳
۱۴		Nyssen	۶۸/۶۸	۲۰۹/۷۷۸	۶۵۶/۰۰	-۰/۲۶۲
۱۵		Brandt	۳۷/۵۷	۱۰۹/۶۱۲	۳۰۲/۰۰	-۰/۲۵۶
۱۶		Marshal and Palmer	۳۷/۹۶	۱۰۹/۲۶۲	۲۹۸/۸۰	-۰/۲۵۴
۱۷	گروه دوم	Alizadeh	۴۴/۲۲	۱۲۳/۶۳۷	۳۳۲/۶۲	-۰/۲۴۹
۱۸		Kinnell	۲۵/۷۹	۶۲/۱۹۳	۱۶۳/۸۹	-۰/۲۴۸
۱۹		Wischmeier and Smith	۵۳/۶۳	۱۴۱/۸۷۳	۳۶۹/۱۶	-۰/۲۳۸
۲۰		KE _{2.5}	۱۶/۱۳	۶۸/۶۲۱	۲۸۳/۹۰	-۰/۲۲۸
۲۱		Brown and Foster	۵۲/۰۸	۱۱۳/۳۳۶	۲۶۵/۰۲	-۰/۲۰۰
۲۲		Jayawardena & Rezaur	۶۹/۵۲	۱۴۸/۰۴۱	۳۳۵/۹۴	-۰/۱۸۶
۲۳		Van Dijk et al	۷۹/۱۵	۱۶۴/۲۷۵	۳۵۹/۶۰	-۰/۱۶۹
۲۴		Cutinho and Tomas	۹۲/۰۳	۱۹۰/۸۵۱	۴۱۷/۱۵	-۰/۱۶۹
۲۵		Cerro et al.	۱۰۱/۹۶	۲۱۰/۱۳۹	۴۵۵/۱۲	-۰/۱۶۴
۲۶		EI ₃₀	۴۹۱/۲۱	۱۵۶۳/۱۵	۵۲۸۲/۵۶	-۰/۷۰۶
۲۷		EI ₆₀	۲۳۱/۰۶	۸۹۵/۸۸۱	۲۷۱۲/۰۷	-۰/۶۵۵
۲۸		EI ₂₀	۲۹۶/۲۲	۱۹۶۶/۱۱۷	۷۸۴۲/۹۵	-۰/۶۳۸
۲۹		EI ₁₅	۳۴۱/۱۱	۲۴۷۵/۵۹۳	۱۰۴۲۱/۵	-۰/۶۲۶
۳۰	گروه سوم	EI _{7.5}	۳۶۳/۸۰	۴۴۲۷/۱۰۷	۲۰۷۳۵/۵۵	-۰/۵۹۱
۳۱		EI ₅	۳۷۱/۴۱	۶۴۰۰/۷۹۸	۳۱۰۴۹/۶۳	-۰/۵۷۹
۳۲		EI ₁₂₀	۱۵۲/۲۹	۶۴۳/۸۰۲	۶۴۳/۸۰	-۰/۵۴۴
۳۳		EI ₁	۲۱۵/۰۰	۱۱۶۷/۶۶۳	۳۸۸۵/۸۷	-۰/۳۵۹

ادامه جدول ۳- ضرایب همبستگی و مقادیر شاخص‌های فرسایندگی باران در ایستگاه مرتع نیر

ردیف	گروه شاخص	نام شاخص فرسایندگی	کمینه	متوسط	بیشینه	ضریب همبستگی
۳۴		KED	۴۸/۵۷	۱۶۵/۰۴۶	۴۷۵/۴۳	۰/۲۴۲
۳۵		KEPD	۵۱/۰۴	۱۵۲/۷۰۰	۴۱۸/۹۴	۰/۲۴۱
۳۶	گروه چهارم	KED2	۴۳/۹۹	۱۹۵/۱۴۸	۶۱۲/۳۰	۰/۲۴۰
۳۷		KE/D	۵۹/۲۲	۱۲۴/۰۸۰	۲۸۶/۶۴	۰/۲۵۵
۳۸		KE/D ²	۵۰/۹	۱۱۰/۴۸۰	۲۲۲/۵۶	۰/۱۹۷
۳۹		PI ₆₀ ²	۴۴/۳۳	۷۳۳/۸۱۳	۴۴۹۱/۴۹	۰/۷۳۰
۴۰		PI ₃₀ ²	۶۰/۶۸	۲۴۵۰/۰۳۴	۱۷۰۴۰/۳۹	۰/۷۱۳
۴۱		RPI ₆₀ ²	۱۶/۸۹	۲۳۳/۸۱۳	۱۴۲۰/۳۳	۰/۷۰۳
۴۲		RPI ₃₀ ²	۲۱/۵۶	۷۹۵/۱۱۰	۵۳۸۸/۶۴	۰/۶۹۴
۴۳		PI ₆₀	۱۶/۳۱	۶۸/۹۸۰	۲۱۱/۹۳	۰/۶۶۴
۴۴	گروه پنجم	PI ₃₀	۱۹/۰۸	۱۱۳/۳۵۰	۴۱۲/۸۰	۰/۶۴۴
۴۵		RPI ₆₀	۶/۶۶	۲۱/۷۷۰	۶۷/۰۲	۰/۶۱۸
۴۶		PI ₁₅	۲۴/۰۸	۱۹۵/۱۴۳	۸۱۴/۳۷	۰/۶۱۰
۴۷		RPI ₃₀	۷/۷۹	۳۵/۹۳۱	۱۳۰/۵۴	۰/۵۸۱
۴۸		PRI ₃₀	۱۰/۷۰	۳۱/۷۹۵	۶۴/۲۵	۰/۵۴۳
۴۹		PRI ₆₀	۹/۸۹	۲۵/۸۹۹	۵۴/۶۴	۰/۵۰۳
۵۰		R ₃₀	۴۵/۰۷	۲۸۵/۶۷۷	۱۱۶۴/۶	۰/۶۹۷
۵۱		R ₂₀	۴۹/۳۸	۳۸۸/۶۷۲	۱۷۲۹/۰۷	۰/۶۸۴
۵۲	گروه ششم	R ₁₀	۵۸/۹۱	۶۸۴/۱۳۵	۳۴۳۴/۴۶	۰/۶۵۳
۵۳		Sum(P*I)	۷/۶۲	۲۵/۲۷۳	۸۴/۰۹	۰/۳۱۹
۵۴		I ^{1.5}	۰/۰۶	۰/۷۳۵	۲/۰۶	۰/۰۹۰
۵۵	گروه هفتم	I ²	۰/۰۲	۰/۷۹۶	۲/۶۲	۰/۰۷۷
۵۶		(Sum (PI))*d	۶/۹۰	۲۹/۵۳۷	۱۰۸/۲۹	۰/۲۹۳
۵۷		KE/PD	۵۶/۳۵	۱۳۲/۳۸۰	۳۲۵/۲۹	۰/۲۳۳
۵۸		d ² *P	۴/۵۱	۱۴/۶۲۴	۳۸/۱۵	۰/۲۰۱
۵۹	گروه هشتم	d*P	۴/۹۸	۱۲/۶	۲۹/۶۲	۰/۱۸۰
۶۰		d*I	۰/۱۴	۰/۸۹۴	۲/۱۹	۰/۰۹۷
۶۱		Root P*t	۴۰/۵۱	۱۱۷/۷۰۳	۲۶۴/۳۹	-۰/۰۰۷

نتیجه‌گیری

فرسایندگی باران به‌طور معمول در قالب شاخص‌های فرسایندگی که مبتنی بر خصوصیات بارندگی هستند، برآورد و بیان می‌شود. لذا در این پژوهش مقادیر بیشینه، متوسط و کمینه شاخص‌های مختلف برآورد و در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به شرایط رگبارها حادث شده، مقادیر برآورد شده شاخص‌های فرسایندگی متفاوت می‌باشد. لذا، توصیه می‌شود، مقادیر متوسط مبنای محاسبات قرار گیرد.

مقایسه مقادیر متوسط فرسایندگی در سطح جهانی نشان می‌دهد، کمترین میزان گزارش شده مربوط به منطقه وادی‌الرملا در کشور مصر با مقدار ۶۸ مگاژول-میلی‌متر در ساعت در هکتار در سال و بیشترین میزان مربوط به منطقه مونت ورژین کشور ایتالیا با ۳۲۱۲ مگاژول-میلی‌متر در ساعت در هکتار در سال می‌باشد. البته اکثر مقادیر متوسط گزارش شده از مناطق مختلف جهان در محدوده ۱۴۰۰-۷۰۰ مگاژول-میلی‌متر در ساعت در هکتار در سال می‌باشد

نکته قابل توجه در نتایج این پژوهش آن است که به محض ورود شدت‌های بیشینه بارش در پایه‌های زمانی مختلف، شاهد روند رو به رشد همبستگی‌ها هستیم. این امر در ایستگاه تحقیقات مرتع نیر شرایطی را فراهم ساخته که شاخص $P.I_{60}^2$ به‌عنوان بهترین شاخص در نظر گرفته شود و گروه شاخص‌های حاصل‌ضرب انرژی جنبشی کل بارش در بیشینه شدت بارش در پایه‌های مختلف زمانی و گروه شاخص‌های مرکب از مقدار کل بارش و بیشینه شدت بارش در پایه‌های مختلف زمانی به‌عنوان بهترین گروه از شاخص‌ها برای منطقه معرفی شود. این نکته با نتایج تحقیقات انجام شده توسط Wischmeier و Smith (۱۹۷۸)، Hemmati (۲۰۰۷)، Khorsandi و همکاران (۲۰۱۱) و Mousavi Kiassari (۲۰۱۲) همخوانی دارد. زیرا آنان نیز اعلام کرده بودند که با ورود شدت‌های بیشینه بارش در پایه‌های زمانی مختلف و عامل انرژی جنبشی همبستگی‌ها بهتر می‌شود. تنها تفاوت موجود در اینجا مربوط به پایه زمانی بیشینه شدت رگبار می‌باشد. به‌طوری که برای منطقه یزد اثر شدت بیشینه ۶۰ دقیقه‌ای به‌مراتب بهتر از تاثیر بیشینه شدت ۳۰ دقیقه‌ای بر اساس آنچه که Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) داشته بودند، می‌باشد که در این مورد نیز با نظر Hemmati (۲۰۰۷) همخوانی دارد. لذا تغییرات شاخص فرساینده‌گی بستگی به منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه‌گیری دارد. بنابراین، نمی‌توان نتایج یک منطقه و اقلیم را به منطقه و اقلیم دیگر تعمیم داد. چگونگی بروز چنین رابطه‌ای تا حدود زیادی مرتبط با نوع رگبارهای منطقه و به بیان دیگر مربوط به الگوی بارش منطقه‌ای است. در نهایت، پیشنهاد می‌شود، به‌منظور کاهش خطاهای احتمالی تعداد بیشتری از کرت‌ها در شرایط اقلیمی منطقه جنوب شرق کشور استفاده شود و نیز دوره آماربرداری طولانی‌تری از وقایع بارش و به‌تبع آن رواناب و رسوب متناظرشان مطالعه شود.

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است، از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع

(Diodato و Bellocchi، ۲۰۱۰). لذا مقدار متوسط فرساینده‌گی باران برآورد شده به‌وسیله شاخص فرساینده‌گی حاصل‌ضرب مقدار کل بارش در مربع بیشینه شدت ۶۰ دقیقه‌ای بارش (PI_{60}^2) به میزان $733/813$ مگاژول-میلی‌متر در ساعت در هکتار در سال بوده و با محدوده جهانی آن تطابق دارد.

همچنین، بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در میان ۶۱ شاخص فرساینده‌گی مورد مطالعه، شاخص فرساینده‌گی حاصل‌ضرب مقدار کل بارش در مربع بیشینه شدت ۶۰ دقیقه‌ای بارش با ضریب همبستگی $0/730$ در میان سایر شاخص‌ها از بالاترین ضریب همبستگی برخوردار است و باید آن را به‌عنوان بهترین شاخص فرساینده‌گی برای این منطقه در نظر گرفت. ولی بررسی روند موجود در میان مقادیر به‌دست آمده نشان می‌دهد که شاخص‌های Roose و Nearing (گروه هفتم) که تنها مبتنی بر مجموع شدت‌های جزئی بارش به توان $1/5$ و 2 می‌باشد، با ضرایب همبستگی $0/090$ و $0/077$ ضعیف‌ترین همبستگی‌ها را با مقدار تلفات خاک دارند و سایر شاخص‌های مبتنی بر قطر میانه قطرات باران و مدت زمان کل بارش همبستگی ضعیفی داشته‌اند که بهترین شاخص از این گروه مربوط به شاخص حاصل‌ضرب قطر میانه ذرات در مجموع حاصل‌ضرب مقادیر بارش‌های جزئی در شدت‌های مربوطه با ضریب همبستگی $0/293$ می‌باشد. با تغییر نوع شاخص‌ها از شاخص‌های گروه قبلی به شاخص‌های بیشینه شدت بارش در پایه‌های مختلف زمانی افزایش قابل توجهی در مقدار ضریب همبستگی دیده می‌شود که بیشترین آن مربوط به شاخص بیشینه شدت ۶۰ دقیقه‌ای بارش با ضریب همبستگی $0/530$ می‌باشد. گروه شاخص‌های انرژی جنبشی کل بارش همبستگی متفاوتی را نشان داده‌اند. به‌طوری که شاخص‌های KE_5 و EI_{10} با ضرایب $0/620$ و $0/603$ همبستگی خوبی را نشان می‌دهد. همچنین، شاخص‌های فرساینده‌گی گروه Stanescu نتایج همبستگی بهتری نسبت به شاخص‌های اشاره شده قبلی نشان داده و از این گروه شاخص R_{30} با ضریب همبستگی $0/697$ مطلوب‌تر بوده است.

طبیعی یزد به خاطر تامین هزینه‌های این پژوهش
 دکتر منصور پاره‌کار و مهندس امیر سررشته‌داری و
 ق‌دردانی شود. همچنین، از همکاری آقایان مرحوم
 سرکار خانم دکتر نازیلا خرسندی ق‌دردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abu Hammad, A.H., T. Borresen and L.E. Haugen. 2005. Effects of rain characteristics and terracing on runoff and erosion under the Mediterranean. *Soil and Tillage Research*, 87: 39-47.
2. Diodato, N. and G. Bellocchi. 2010. MedREM, a rainfall erosivity model for the Mediterranean region. *Journal of Hydrology*, 387: 119-127.
3. Hemmati, M. 2007. Investigating the appropriate rainfall erosivity index in Zanjan, Markazi and Kermanshah. PhD Thesis. Azad University of Science and Research, Tehran, 123 pages (in Persian).
4. Hoyos, N., P.R. Waylen and A. Jaramill. 2005. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology*, 314(1-4): 177-191.
5. Kariaga, B.M. 2002. Rainfall erosivity factor for uasin Gishu Plateau. *Kenya Discovery and Innovation*, 14(1-2): 57-62.
6. Khorsandi, N., M.H. Mahdian, E. Pazira and D. Nikkami. 2010. Comparison of rainfall erosivity indices in runoff-sediment plots in northern Iran. *World Applied Sciences Journal*, 10(8): 975-979.
7. Khorsandi, N., M.H. Mahdian, E. Pazira and D. Nikkami. 2012. Spatial variability of imprecise values of rainfall erosivity index. *World Applied Sciences Journal*, IDOSI Publications, 18(2): 243-250.
8. Moussavi Kiassari, E., D. Nikkami, M.H. Mahdian and E. Pazira. 2012. Appointment and estimation of appropriate rainfall erosivity index in Khorasan Razavi province. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)*, 96: 45-57 (in Persian).
9. Nicolau, J.M. 2002. Runoff generation and routing on artificial slopes in a Mediterranean continental environment: the Teruel Coalfield, Spain. *Hydrol Proc*, 16: 631-647.
10. Morgan, R.P.C. 2005. *Soil erosion and conservation*. Blackwell publication, 305 pages.
11. Sharifah, S.A., S. Al-Thom and O. Jaafar. 2003. Rain splash erosion: a case study in Tekala River catchment, East Selangor, Malaysia. *Geografia*, 4: 44-59.
12. Sukhanovski, Y.P., G. Ollsch, K.Y. Khan and R. Meibner. 2002. A new index for rainfall erosivity on a physical basis. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1: 51-57.
13. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA Handbook. 537 pages.
14. Yang, Z., L. Yang and B. Zhang. 2010. Soil erosion and its basic characteristics at karst rocky-desertified land consolidation area: a case study at Muzhe Village of Xichou County in southeast Yunnan, China. *Journal of Mountain Science*, 7: 55-72.

Suitability of different rainfall erosivity indices in cold, dry climate of central Iran, a case study in Nir rangeland research station–Yazd Province

Jalal Barkhordari^{*1}, Davood Nikkami², Mohammadbagher Samadi³ and Monirosadat Tabatabaeizadeh⁴

^{1,4}Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Yazd, Iran, ²Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran and ³Scientific Board, Faculty of Mollasadra Applied–Science Center, Yazd, Iran

Received: 02 May 2013

Accepted: 02 November 2013

Abstract

Rainfall erosivity is one of the most important factors in determining soil erosion. This factor is usually expressed as erosion indices that are based on rainfall characteristics.

In this study, after construction of 12 runoff-sediment plots in Nir Research Station in Yazd province, the amount of runoff and sediment from each plot were monitored and measured for 12 rainfall events. Then, based on a world wide literature review, 61 rainfall erosivity indices were identified. The rainfall erosivity indices were determined for each of the storms with extracting the required parameters. In order to determining suitable rainfall erosivity indices, the correlation between the rainfall erosivity indices and soil loss values were determined. The results showed that PI_{60}^2 , PI_{30}^2 , RPI_{60}^2 , RPI_{30}^2 , RI_{60} with 0.730, 0.713, 0.703, 0.694 and 0.664 percent had highest correlation with soil loss amount. Generally, in the climatic condition of study area, the indices based on rainfall intensity with total amount of rainfall multiply in the square of 60 and 30 minutes rainfall are better than other indices.

Key words: Soil loss, Rainfall intensity, Correlation, Standard plot, Yazd Province

* Corresponding author: jbarkhordary@yahoo.com