

معرفی شاخص مناسب فرساینده‌گی مبتنی بر شدت بارندگی بر اساس رسوب خروجی در کرت‌های آزمایشی (استان مرکزی)

علی‌اکبر داودی‌راد^{۱*}، داود نیک‌کامی^۲، حشمت‌آقا‌رضی^۳، مهدی مردیان^۴

۱ - (* نویسنده مسئول) استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی *davudi_rad@yahoo.com*

۲ - استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی *nikkami.d@gmail.com*

۳ - مربی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی *h_gharazi@yahoo.com*

۴ - دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانش‌گله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری *mehdimardian@gmail.com*

چکیده

فرساینده‌گی باران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر فرسایش خاک است که آگاهی و اطلاع از آن در کنترل فرسایش خاک و حفاظت از منابع آب و خاک حائز اهمیت بوده و نقش مهمی در طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی ایفا می‌کند. با اندازه‌گیری هم‌زمان تلفات خاک و خصوصیات بارندگی و برقراری روابطی بین آن‌ها، می‌توان به شاخص‌هایی دست یافت و بدین طریق بدون اندازه‌گیری مستقیم می‌توان قدرت فرساینده‌گی باران را برای مناطق مختلف تعیین نمود. لذا در این پژوهش با هدف تعیین شاخص فرساینده‌گی باران مبتنی بر شدت بارندگی، شاخص‌های مرسوم تعیین فرساینده‌گی باران و آمار تلفات خاک در کرت‌های آزمایشی مد نظر قرار گرفت. سپس با برقراری همبستگی بین آن‌ها و امتیازدهی آن، شاخص مناسب مبتنی بر شدت انتخاب شد. بر این اساس از بین ۶۴ شاخص استفاده شده، به شاخص‌های KE_{25} ، EI_{30} ، I_{10} ، PI_{30}^2 و EI_{60} امتیازهای بالاتری تعلق گرفت و در نهایت EI_{30} به‌عنوان شاخص فرساینده‌گی مناسب برای استان مرکزی محسوب شد که مبنای مناسبی برای تهیه نقشه فرساینده‌گی استان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص فرساینده‌گی باران، شدت بارندگی، فرسایش آبی، کرت‌های فرسایش

مقدمه

فرسایش خاک یک مشکل مهم اجتماعی و اقتصادی و یک عامل ضروری در ارزیابی سلامتی و کارکرد اکوسیستم است (نیک کامی و مهدیان، ۱۳۹۳). مهار فرسایش خاک با توجه به اهمیت آن به ویژه از نظر کاهش تولیدات کشاورزی ضروری است. نخستین گام در این زمینه، پیش بینی هدررفت خاک و ارزیابی عوامل عمده مؤثر بر آن است (رجمان^۱ و همکاران، ۱۹۹۸). عوامل مختلفی چون اقلیم، جنس خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی و مدیریت اراضی در نحوه عملکرد فرسایش دخالت دارند. در این میان، فرساینده گی باران مهم ترین عامل در ایجاد فرسایش به حساب می آید. زیرا تصادم قطرات باران با زمین، مهم ترین عامل جدا کننده ذرات خاک است (بیسونایس^۲ و همکاران، ۲۰۰۱؛ اسمعیلی و همکاران، ۱۳۸۹) که تابعی از ویژگی های فیزیکی باران می باشد. عبارت فرساینده گی باران توسط ویشمایر و اشمیت در سال ۱۹۵۸ به منظور لحاظ تأثیر اقلیم بر فرسایش خام ارائه شد (ویشمایر و اشمیت^۳، ۱۹۷۸). 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 رابطه جهانی فرسایش خاک^۴) 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 (همتی و همکاران، ۱۳۸۶).

به طور کلی شاخص های فرساینده گی 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 (حکیم خانی و همکاران، ۱۳۸۶). در گروه اول، به نحوی از شدت بارندگی یا انرژی جنبشی یا هر دوی آنها در ارائه شاخص فرساینده گی استفاده شده است. از معروف ترین شاخص های این گروه می توان به EI_{30} (ویشمایر و اشمیت، ۱۹۷۸)، AIm (لعل^۵، ۱۹۷۶)، $KE > 1$ و P/t اشاره نمود. در این رابطه می توان به پژوهش های نیکولائو^۶ (۲۰۰۲) در اسپانیا، شریفه مستورا^۷ (۲۰۰۳) در مالزی، همتی و همکاران (۱۳۸۶) در اقلیم نیمه خشک سرد کرمانشاه و واعظی و رستمی (۱۳۹۳) در مناطق نیمه خشک (غرب زنجان) اشاره کرد.

در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت تعیین شاخص فرساینده گی مناسب در هر شرایط اقلیمی و منطقه ای و از سوی دیگر ضرورت دستیابی به شاخص مناسب فرساینده گی باران در طرح های حفاظت خاک و آبخیزداری، بر اساس داده های موجود کرت های آزمایشی رواناب- رسوب در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسیبجان در غرب استان مرکزی، پژوهشی انجام شد.

مواد روش ها

به منظور تعیین مناسب ترین شاخص فرساینده گی، وجود اطلاعات رواناب- رسوب حاصل از کرت های آزمایشی ضروری می باشد. لذا ایستگاه های تحقیقات فرسایش خاک مجهز به باران نگار و کرت های جمع آوری رواناب و رسوب زمینه مناسبی برای دستیابی به این مهم را فراهم می آورند. در این ایستگاه با توجه به بارش های منفرد که منجر به ایجاد رواناب و تلفات خاک شده اند و اندازه گیری رسوب ایجاد شده، شاخص های مبتنی بر شدت بارش در طول دوره آماربرداری محاسبه شده و سپس با برقراری روابط رگرسیونی بین شاخص های مورد نظر و میزان تلفات خاک حاصل از کرت ها و بررسی ضرائب همبستگی، مناسب ترین شاخص مبتنی بر شدت در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسیبجان اراک انتخاب شد.

1 Rejman

2 Bissonnais

3 Wichmeier & Smith

4 Universal Soil Loss Equation (USLE)

5 Lal

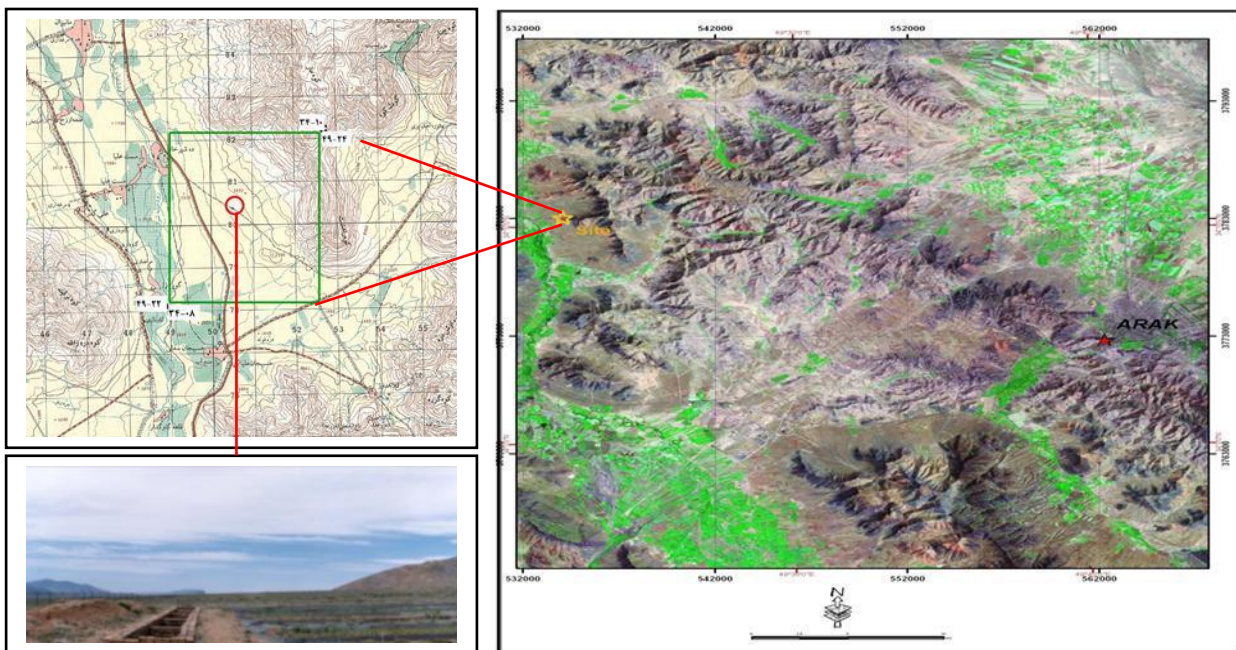
6 Nicolau

7 Sharifah Mastura

مشخصات و موقعیت ایستگاه تحقیقات فرسایش خاک

ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسیبجان در سال ۱۳۷۹ به منظور عملیاتی کردن طرح های تحقیقاتی حفاظت خاک و مدل های فرسایش و رسوب در فاصله طول شرقی 49° و $22'$ الی 49° و $24'$ و عرض شمالی 34° و $8'$ الی 34° و $10'$ شمالی به مساحت کل ۹۰۰ هکتار و در بخش شفاء شهرستان اراک در ۶۰ کیلومتری شهر اراک در مسیر جاده خنداب به اراک واقع شده است (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع ایستگاه به ترتیب ۱۸۰۰ و ۲۶۸۳ متر و ارتفاع متوسط وزنی ۱۸۵۰ متر از سطح دریا می باشد. میانگین بارندگی محدوده با توجه به ایستگاه هواشناسی خنداب طی یک دوره ۲۶ ساله، حدود ۳۰۵ میلی متر می باشد. اقلیم منطقه در اقلیم نمای آمبرژه خشک سرد و در اقلیم نمای دومارتن نیمه خشک سرد تعیین شده است. هم چنین با توجه به باران نگار موجود در ایستگاه، امکان دستیابی به مقادیر و تغییرات زمانی بارش ها فراهم گردید.

در همین راستا، شبکه ای از کرت های استاندارد برای اجرای طرح تحقیقاتی ارزیابی USLE در سال ۱۳۷۳ احداث شد. به طوری که جهت بررسی کمی رواناب و تلفات خاک در اراضی با توجه به شیب زمین و نوع کاربری ابتدا قطعات زمین با شیب های ۹، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد انتخاب شدند. در هر یک از قطعات تعداد ۹ کرت ۴۰ متر مربعی احداث شد و در هر یک از شیب ها تیمارهای مرتع، زراعت و شخم رها شده به اجرا درآمدند و هر تیمار دارای سه تکرار بوده است. جهت جمع آوری رواناب و رسوب در انتهای هر کرت، بشکه ۲۲۰ لیتری مدرج و کالیبره شده تعبیه شده بود (آقارزی و همکاران، ۱۳۸۹). بر اساس آماربرداری صورت گرفته، ۲۳ نمونه برداری رسوب صورت گرفته و در نهایت میزان فرسایش در کرت های آزمایشی و تغییرات بارش هریک تهیه شد (آقارزی و قدوسی، ۱۳۸۰؛ آقارزی و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۱- موقعیت ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسیبجان و نمونه های از کرت های ایجاد شده

شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر شدت بارندگی

با توجه به هدف اصلی پژوهش، برای انتخاب مناسب‌ترین شاخص فرساینده‌گی مبتنی بر شدت بارندگی در شرایط منطقه مورد مطالعه، ۶۴ شاخص فرساینده‌گی (جدول ۱) (نیک‌کامی و مهدیان، ۱۳۹۱) در نظر گرفته شد. به این ترتیب با مشخص بودن مقادیر رسوب خروجی از کرت‌ها پس از هر واقعه بارندگی (آقارزی و همکاران، ۱۳۸۰؛ آقارزی و همکاران، ۱۳۸۹)، شاخص‌های فرساینده‌گی هر واقعه نیز محاسبه شد. سپس، همبستگی بین پارامترهای شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر شدت بارندگی و رسوب خروجی کرت‌ها در هر واقعه مورد بررسی قرار گرفت و شاخص مناسب متکی به شدت مشخص شد.

جدول ۱- شاخص‌های فرساینده‌گی باران (نیک‌کامی و مهدیان؛ ۱۳۹۳)

نماد	شاخص فرساینده‌گی	ردیف
$I_{\max 5,15,30,60,120}$	شاخص حداکثر شدت ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه‌ای بارش	۶ تا ۱
$I^{1.5}$	شاخص Roose	۷
I^2	شاخص Nearing	۸
KE_1	شاخص انرژی جنبشی Wischmeier و Smith	۹
KE_2	شاخص انرژی جنبشی Palmer و Marshal	۱۰
KE_3	شاخص انرژی جنبشی Torri و Zanchi	۱۱
KE_4	شاخص انرژی جنبشی Yoshinaga و Shirai، Onaga	۱۲
KE_5	شاخص انرژی جنبشی Brandt	۱۳
KE_6	شاخص انرژی جنبشی Alizadeh	۱۴
KE_7	شاخص انرژی جنبشی Kinnell	۱۵
KE_8	شاخص انرژی جنبشی Tomas و Cutinho	۱۶
KE_9	شاخص انرژی جنبشی Cerro و همکاران	۱۷
KE_{10}	شاخص انرژی جنبشی Rezaur و Jayawardena	۱۸
KE_{11}	شاخص انرژی جنبشی Nyssen	۱۹
KE_{12}	شاخص انرژی جنبشی Van dijk و همکاران	۲۰
KE_{13}	شاخص انرژی جنبشی Foster و Brown	۲۱
$KE > 10$ و $KE > 25$	شاخص Hudson و Morgan	۲۳ و ۲۲
$EI_{5,10,15,30,60,120}$	شاخص حاصل ضرب انرژی جنبشی کل در حداکثر شدت ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ دقیقه‌ای بارندگی	۲۴ تا ۲۹
A	شاخص مقدار بارندگی	۳۰
P / \sqrt{t}	شاخص نسبت مقدار کل بارندگی به جذر مدت زمان بارندگی	۳۱
AI_m	شاخص Lal	۳۲
$P_{10,20,30}$	شاخص مقدار بارش اتفاق افتاده به ازاء حداکثر شدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه‌ای	۳۳ تا ۳۵
$R_{30,20,10}$	شاخص (Type I,II,III) Stanescu	۳۶ تا ۳۸

ادامه جدول ۱- شاخص های فرساینده باران

نماد	شاخص فرساینده	ردیف
KE / d و KE / d^2	شاخص Riezebosa و Epema (Type I, II)	۳۹ و ۴۰
$KE > 1$	شاخص تغییر یافته Hudson (Type I)	۴۱
$KE > 2.5$	شاخص تغییر یافته Hudson (Type II)	۴۲
$KE > 5$	شاخص تغییر یافته Hudson (Type III)	۴۳
\sqrt{AT}	شاخص جذر حاصل ضرب مقدار کل بارش در مدت زمان بارش	۴۴
AI_{30}^2	شاخص حاصل ضرب مقدار کل بارش در مربع حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بارش	۴۵
AI_{30}	شاخص حاصل ضرب مقدار کل بارش در حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بارش	۴۶
$A\sqrt{I_{30}}$	شاخص حاصل ضرب مقدار کل بارش در جذر حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بارش	۴۷
$\sum KE^2$	شاخص مربع مقدار کل انرژی جنبشی بارش	۴۸
$KE.d$	شاخص حاصل ضرب مقدار کل انرژی جنبشی بارش در قطر میانه ذرات بارش	۴۹
$KE.d^2$	شاخص حاصل ضرب مقدار کل انرژی جنبشی بارش در مربع قطر میانه ذرات	۵۰
$KE.\sqrt{d}$	شاخص حاصل ضرب مقدار کل انرژی جنبشی بارش در جذر قطر میانه ذرات	۵۱
$\sum(P.I)$	شاخص مجموع حاصل ضرب مقادیر بارش های جزئی در شدت های مربوطه	۵۲
$d.P$	شاخص حاصل ضرب قطر میانه ذرات در مقدار کل بارش	۵۳
$(d)^2.P$	شاخص حاصل ضرب مربع قطر میانه ذرات در مقدار کل بارش	۵۴
$d.I$	شاخص حاصل ضرب قطر میانه ذرات در شدت بارش	۵۵
$(\sum(P.I)).d$	شاخص حاصل ضرب قطر میانه ذرات در مجموع حاصل ضرب بارش ها در شدت ها	۵۶
$\sqrt{P}.I_{30}$	شاخص حاصل ضرب جذر مقدار کل بارش در حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بارش	۵۷
$\sqrt{P}.I_{30}^2$	شاخص حاصل ضرب جذر مقدار کل بارش در مربع حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بارش	۵۸
$P.I_{60}$	شاخص حاصل ضرب مقدار کل بارش در حداکثر شدت ۶۰ دقیقه ای بارش	۵۹
$P.\sqrt{I_{60}}$	شاخص حاصل ضرب مقدار کل بارش در جذر حداکثر شدت ۶۰ دقیقه ای بارش	۶۰
$\sqrt{P}.I_{60}$	شاخص حاصل ضرب جذر مقدار کل بارش در حداکثر شدت ۶۰ دقیقه ای بارش	۶۱
$\sqrt{P}.I_{60}^2$	شاخص حاصل ضرب جذر مقدار کل بارش در مربع حداکثر شدت ۶۰ دقیقه ای بارش	۶۲
$P.I_{60}^2$	شاخص حاصل ضرب مقدار کل بارش در مربع حداکثر شدت ۶۰ دقیقه ای بارش	۶۳
KE / \sqrt{d}	شاخص نسبت انرژی جنبشی کل بارش به جذر قطر میانه ذرات بارش	۶۴

نتایج و بحث

با توجه به موجودیت مقادیر رسوب خروجی از کرت ها پس از هر واقعه ، مقادیر متوسط ۶۴ شاخص فرساینده مبتنی بر شدت بارندگی مربوط به ایستگاه مجهز به باران نگار و کرت های فرسایش و رسوب در استان مرکزی، برای هر واقعه محاسبه شد. مقادیر این شاخص ها در جدول (۲) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود، بزرگ ترین مقدار شاخص ها در استان به ترتیب مربوط به R_{10} ، R_{20} و R_{30} می باشد.

جدول ۱- مقادیر متوسط رویدادهای شاخص های فرساینده بر مبنای شدت بارندگی در کرت های فرسایشی

استان مرکزی (ایستگاه خسبیجان)	شاخص های فرساینده	استان مرکزی (ایستگاه خسبیجان)	شاخص های فرساینده	استان مرکزی (ایستگاه خسبیجان)	شاخص های فرساینده
۹۷/۳۹۸	KE ₁	۲۹/۵۸۸	I ₅	۱۱/۰۳۴	Wishmeier & Smith
۹۷/۲۵۱	KE _{2.5}	۲۴/۵۰۰	I _{7.5}	۹/۴۶۵	Marshal & Palmer
۹۵/۸۸۴	KE ₅	۱۳/۱۷۵	I ₁₀	۱۱/۴۲۹	Zanch & Torri
۹۱/۷۸۱	KE ₁₀	۱۱/۵۹۰	I ₁₅	۱۱/۳۲۶	Onaga et al.
۱۷۸/۸۹	KE ₂₅	۲/۳۸۲	I ₂₀	۱۲/۱۹۱	Cutinho & Tomas
۳۷۰۸/۳۱۸	R ₁₀	۲/۰۵۰	I ₃₀	۱۱۵/۴۴۲	Cerro et al.
۲۵۹/۶۹۶	R ₂₀	۰/۴۳۵	I ₆₀	۸۵/۷۵۴	Kinnel
۲۵۵/۳۷۸	R ₃₀	۰/۵۹۰	I ₁₂₀	۸۷/۲۴۱	Brandt
۶/۷۹۸	I ^{1.5}	۳۷/۴۷۵	KE/D	۱۰۹/۷۳۵	Jayawardena & Rezaur Nyssen
۱۳/۷۱۴	I ²	۱۴/۹۷۹	KE/D ²	۱۲۴/۷۳۲	
۲۴۲/۲۱۶	(Σ (PI)).d	۶۰/۱۱۵۲	KE/PD	۸۸/۶۲۳	Van Dijk et al.
۸۹/۶۵۱	dI	۲۶۱/۲۴۲	KED	۹۲/۶۸۲	Alizadeh
۲۴/۳۴۴	d ² P	۷۱۸/۵۲۳	KED ²	۸۸/۷۹۶	Brown & Foster
۹/۰۶۲	dP	۱۵۸/۹۵۰	KE.P.D	۸۸/۶۰۱	Hudson
۵۴۵/۰۳۱	Σ (PI)	۰/۳۰۱	RPI ₆₀ ²	۴۵/۴۶	EI ₁
۴/۲۹۸	(Pt) ^{0.5}	۲/۲۸۳	RPI ₆₀	۴۳/۳۵	EI ₅
		۰/۶۴۶	PI ₆₀ ²	۴۲/۴۴	EI _{7.5}
		۱/۴۹۸	PI ₆₀	۴۱/۱۳	EI ₁₀
		۲/۴۹۲	RPI ₃₀	۴۲/۰۸	EI ₁₅
		۷/۱۱۰	PPI ₃₀ ²	۴۱/۱۳	EI ₂₀
		۳/۱۰۶	PR ₃₀	۳۷/۵۲	EI ₃₀
		۸/۴۰۹	PI ₃₀ ²	۳۴/۳۰	EI ₆₀
		۳/۵۵۰	PI ₃₀	۲۸/۳۳	EI ₁₂₀
		۵۳/۲۲۸	PI ₁₅	۲۴/۵۶۶	I ₁

به منظور تعیین شاخص فرساینده مناسب، از بررسی رابطه بین شاخص های فرساینده مبتنی بر شدت باران و تلفات خاک در کرت های احداث شده در ایستگاه تحقیقاتی خسبیجان استفاده شد. بنابراین، در این مرحله روابط همبستگی بین شاخص های مبتنی بر

شدت بارندگی هر رگبار و تلفات خاک کرت‌های فرسایش و رسوب هر رخداد بارندگی بررسی شد (جدول ۳). همچنین بر اساس تقسیم بندی جدول (۴) به ضرایب همبستگی معنی دار هر شاخص فرسایشی مربوط به کرت های مختلف، امتیازی تعلق گرفت که به عنوان امتیاز شماره یک نامیده شد. سپس، تعداد ضرایب معنی دار هر شاخص فرسایشی در کرت های مختلف برای استان تعیین و بر تعداد کل کرت ها تقسیم شد. عدد به دست آمده به عنوان امتیاز شماره دو در نظر گرفته شد. در نهایت، مجموع امتیاز شماره یک و دو به دست آمد. به این ترتیب، شاخص فرسایشی مناسب برای استان تعیین شد و در استان مرکزی شاخصهای PI_{30}^2 ، I_{10} ، EI_{30} ، KE_{25} و EI_{60} به ترتیب امتیازهای ۱۰، ۷، ۶ و ۶ را دارا می‌باشند.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های فرسایشی مبتنی بر شدت و رسوب کرت‌های استان مرکزی

کرت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Wishmeier & Smith	۰/۱۵۸	۰/۰۷۶	۰/۲۴۱	۰/۱۰	۰/۱۳۷	۰/۱۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۶
Marshall & Palmer	۰/۱۵۸	۰/۰۷۷	۰/۲۴۶	۰/۰۰۸	۰/۱۳۷	۰/۱۱۹	۰/۰۲۷	۰/۰۳۵
Zanch & Torri	۰/۱۵۸	۰/۰۷۷	۰/۲۴۹	۰/۰۰۷	۰/۱۳۸	۰/۱۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۴
Onaga et al.	۰/۱۵۸	۰/۰۷۷	۰/۲۴۸	۰/۰۰۸	۰/۱۳۸	۰/۱۱۷	۰/۰۲۷	۰/۰۳۴
Cutinho & Tomas	۰/۱۴۸	۰/۰۶۱	۰/۲۲۰	۰/۰۲۳	۰/۱۲۱	۰/۱۵۸	۰/۰۱۱	۰/۰۴۷
Cerro et al.	۰/۱۵۰	۰/۰۶۴	۰/۲۲۳	۰/۰۲۱	۰/۱۲۴	۰/۱۵۴	۰/۰۱۴	۰/۰۴۵
Kinnel	۰/۱۳۸	۰/۰۵۰	۰/۲۲۵	۰/۰۲۷	۰/۱۰۹	۰/۱۵۴	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱
Brandt	۰/۱۵۸	۰/۰۷۷	۰/۲۴۶	۰/۰۰۸	۰/۱۳۷	۰/۱۱۹	۰/۰۲۷	۰/۰۳۵
Jayawardena & Rezaur	۰/۱۴۴	۰/۰۵۷	۰/۲۲۳	۰/۰۲۴	۰/۱۱۷	۰/۱۵۶	۰/۰۰۹	۰/۰۴۸
Nyssen	۰/۱۵۲	۰/۰۶۴	۰/۱۹۹	۰/۰۲۷	۰/۱۲۵	۰/۱۸۱	۰/۰۰۹	۰/۰۵۱
Van Dijk et al.	۰/۱۴۶	۰/۰۵۹	۰/۲۱۴	۰/۰۲۵	۰/۱۱۹	۰/۱۶۶	۰/۰۰۸	۰/۰۵۰
Alizadeh	۰/۱۵۸	۰/۰۷۷	۰/۲۴۴	۰/۰۰۹	۰/۱۳۷	۰/۱۲۱	۰/۰۲۶	۰/۰۳۵
Brown & Foster	۰/۱۴۱	۰/۰۵۳	۰/۲۱۷	۰/۰۲۷	۰/۱۱۲	۰/۱۶۲	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱
Hudson	۰/۱۳۳	۰/۰۴۲	۰/۲۲۹	۰/۰۳۰	۰/۱۰۲	۰/۱۴۷	۰/۰۰۲	۰/۰۵۵
EI_1	۰/۱۸۹	۰/۱۵۹	۰/۳۸۳	۰/۰۸۷	۰/۲۱۰	۰/۱۵۸	۰/۱۲۳	۰/۰۵۲
EI_5	۰/۱۷۲	۰/۱۵۲	۰/۳۶۸	۰/۰۸۳	۰/۱۹۸	۰/۱۱۶	۰/۱۱۸	۰/۰۵۱
$EI_{7.5}$	۰/۱۶۸	۰/۱۴۱	۰/۳۵۱	۰/۰۷۰	۰/۱۸۷	۰/۰۷۱	۰/۱۰۶	۰/۰۴۰
EI_{10}	۰/۰۵۲	۰/۰۸۶	۰/۱۱۱	۰/۰۹۶	۰/۰۸۳	۰/۴۱۱	۰/۰۹۴	۰/۰۸۳
EI_{15}	۰/۰۴۶	۰/۰۸۶	۰/۱۱۰	۰/۰۹۹	۰/۰۸۰	۰/۴۱۵	۰/۰۹۶	۰/۰۸۶
EI_{20}	۰/۵۹۸	۰/۳۱۷	۰/۱۲۲	۰/۱۱۶	۰/۴۹۸	۰/۲۴۸	۰/۱۱۷	۰/۰۴۶
EI_{30}	۰/۷۷۸*	۰/۶۳۸*	۰/۱۸۱	۰/۲۱۰	۰/۶۱۸*	۰/۱۲۵	۰/۲۲۸	۰/۱۲۷
EI_{60}	۰/۵۹۴	۰/۵۸۵	۰/۳۶۲	۰/۳۹۷	۰/۶۷۰*	۰/۰۵۲	۰/۴۶۳	۰/۳۲۴
EI_{120}	۰/۱۵۸	۰/۰۷۶	۰/۲۴۱	۰/۰۱۰	۰/۱۳۷	۰/۱۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۶
I_1	۰/۱۴۴	۰/۱۱۵	۰/۳۶۸	۰/۰۵۶	۰/۱۵۹	۰/۱۴۸	۰/۰۸۹	۰/۰۲۲
I_5	۰/۰۹۷	۰/۱۷۳	۰/۳۳۶	۰/۲۰۳	۰/۰۸۶	۰/۲۶۳	۰/۲۳۰	۰/۲۱۲
$I_{7.5}$	۰/۱۶۱	۰/۱۵۹	۰/۲۹۷	۰/۲۰۷	۰/۰۴۷	۰/۲۳۴	۰/۲۳۲	۰/۲۲۸
I_{10}	۰/۵۸۱	۰/۰۱۹	۰/۱۵۵	۰/۱۷۲	۰/۲۸۳	۰/۰۲۵	۰/۱۵۷	۰/۷۱۶*

ادامه جدول ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص های فرساینده مبنی بر شدت و رسوب کرت های استان مرکزی

کرت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
I ₁₅	۰/۳۰۴	۰/۰۲۵	۰/۱۳۶	۰/۰۸۴	۰/۱۶۱	۰/۱۸۳	۰/۰۶۱	۰/۱۳۷
I ₂₀	۰/۵۵۹	۰/۴۱۴	۰/۱۰۷	۰/۳۱۳	۰/۵۳۳	۰/۱۵۴	۰/۲۸۱	۰/۲۵۸
I ₃₀	۰/۵۵۱	۰/۳۹۸	۰/۱۰۸	۰/۳۰۲	۰/۵۱۹	۰/۱۵۷	۰/۲۶۷	۰/۲۴۴
I ₆₀	۰/۳۹۰	۰/۴۰۸	۰/۳۷۷	۰/۳۰۲	۰/۴۵۳	۰/۱۷۳	۰/۳۲۵	۰/۳۴۲
I ₁₂₀	۰/۲۹۱	۰/۴۰۵	۰/۳۴۲	۰/۲۱۲	۰/۳۳۷	۰/۲۵۰	۰/۳۲۶	۰/۳۱۴
KE/D	۰/۱۵۹	۰/۰۷۲	۰/۱۹۷	۰/۰۲۴	۰/۱۳۴	۰/۱۸۱	۰/۰۱۴	۰/۰۴۸
KE/D ²	۰/۱۷۰	۰/۰۸۰	۰/۱۳۳	۰/۰۳۵	۰/۱۴۴	۰/۲۵۵	۰/۰۰۸	۰/۰۵۷
KE/PD	۰/۱۵۷	۰/۰۷۳	۰/۲۲۱	۰/۰۱۷	۰/۱۳۴	۰/۱۵۲	۰/۰۱۹	۰/۰۴۳
KED	۰/۱۶۲	۰/۰۸۶	۰/۲۷۴	۰/۰۰۵	۰/۱۴۶	۰/۰۷۹	۰/۰۳۹	۰/۰۲۴
KED ²	۰/۱۶۸	۰/۰۹۸	۰/۲۹۹	۰/۰۱۹	۰/۱۵۷	۰/۰۴۰	۰/۰۵۳	۰/۰۱۱
KE.P.D	۰/۱۶۰	۰/۰۸۱	۰/۲۵۹	۰/۰۰۳	۰/۱۴۱	۰/۱۰۱	۰/۰۳۲	۰/۰۳۰
RPI ₆₀	۰/۱۵۹	۰/۰۷۶	۰/۱۵۵	۰/۰۳۷	۰/۱۳۷	۰/۲۲۷	۰/۰۰۷	۰/۰۵۵
RPI ₆₀ ²	۰/۱۸۳	۰/۱۰۱	۰/۱۷۹	۰/۰۱۹	۰/۱۶۵	۰/۲۱۹	۰/۰۲۶	۰/۰۳۵
PRI ₆₀	۰/۱۵۹	۰/۰۷۱	۰/۱۹۶	۰/۰۲۴	۰/۱۳۳	۰/۱۸۶	۰/۰۱۳	۰/۰۴۸
PI ₆₀ ²	۰/۱۶۷	۰/۰۸۰	۰/۲۰۴	۰/۰۱۸	۰/۱۴۳	۰/۱۸۳	۰/۰۲۰	۰/۰۴۱
PI ₆₀	۰/۱۶۱	۰/۰۷۴	۰/۱۹۹	۰/۰۲۳	۰/۱۳۶	۰/۱۸۵	۰/۰۱۵	۰/۰۴۶
RPI ₃₀	۰/۵۶۱	۰/۳۸۴	۰/۰۵۱	۰/۲۰۰	۰/۵۲۰	۰/۰۵۶	۰/۱۹۹	۰/۱۴۷
RPI ₃₀ ²	۰/۵۳۳	۰/۲۳۲	۰/۰۸۰	۰/۰۵۴	۰/۳۷۴	۰/۲۱۷	۰/۱۰۹	۰/۰۰۹
PRI ₃₀	۰/۲۹۹	۰/۱۶۳	۰/۱۳۷	۰/۰۰۱	۰/۲۶۲	۰/۲۵۴	۰/۰۴۵	۰/۰۳۸
PI ₃₀ ²	۰/۶۵۹*	۰/۷۱۹**	۰/۴۵۷	۰/۴۶۳	۰/۴۳۶	۰/۳۱۷	۰/۴۷۲	۰/۵۷۴
PI ₃₀	۰/۵۴۲	۰/۳۳۹	۰/۰۷۱	۰/۰۶۶	۰/۴۹۱	۰/۳۱۳	۰/۱۱۶	۰/۰۱۳
PI ₁₅	۰/۰۵۶	۰/۰۸۵	۰/۱۱۵	۰/۰۹۵	۰/۰۸۴	۰/۴۱۱	۰/۰۹۲	۰/۰۸۰
KE ₁	۰/۱۵۸	۰/۰۷۶	۰/۲۴۱	۰/۰۱۰	۰/۱۳۷	۰/۱۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۶
KE _{2.5}	۰/۱۵۷	۰/۰۷۵	۰/۲۴۱	۰/۰۱۱	۰/۱۳۶	۰/۱۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۳۷
KE ₅	۰/۱۵۱	۰/۰۶۶	۰/۲۴۸	۰/۰۱۳	۰/۱۲۷	۰/۱۱۷	۰/۰۱۸	۰/۰۴۰
KE ₁₀	۰/۱۳۳	۰/۰۴۴	۰/۲۵۸	۰/۰۲۴	۰/۱۰۴	۰/۱۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۵۰
R ₁₀	۰/۰۰۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۲	۰/۱۰۷	۰/۰۵۴	۰/۴۲۲	۰/۱۰۲	۰/۱۰۲
R ₂₀	۰/۲۰۹	۰/۱۶۱	۰/۳۸۱	۰/۰۸۲	۰/۲۲۱	۰/۱۳۸	۰/۱۱۶	۰/۰۴۴
R ₃₀	۰/۲۰۵	۰/۱۵۹	۰/۳۸۱	۰/۰۸۱	۰/۲۱۸	۰/۱۳۸	۰/۱۶۶	۰/۰۴۴
I ^{1.5}	۰/۱۳۹	۰/۱۰۰	۰/۳۵۲	۰/۰۳۷	۰/۱۴۶	۰/۰۸۸	۰/۱۷۳	۰/۰۰۷
I ²	۰/۱۶۹	۰/۱۳۶	۰/۳۷۱	۰/۰۶۷	۰/۱۸۵	۰/۱۲۸	۰/۱۰۳	۰/۰۳۴
(Σ (PI)).d	۰/۱۸۹	۰/۱۵۶	۰/۳۸۰	۰/۰۸۳	۰/۲۰۸	۰/۱۴۶	۰/۱۱۹	۰/۰۴۸
dI	۰/۱۰۳	۰/۰۶۲	۰/۳۳۳	۰/۰۰۸	۰/۱۰۴	۰/۰۵۸	۰/۰۴۳	۰/۰۱۹

ادامه جدول ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص های فرساینده مبنی بر شدت و رسوب کرت های استان مرکزی

کرت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
d^2P	۰/۱۶۱	۰/۰۸۴	۰/۲۷۱	۰/۰۰۳	۰/۱۴۴	۰/۰۸۵	۰/۰۳۷	۰/۰۲۵
dP	۰/۱۵۶	۰/۰۷۴	۰/۲۳۸	۰/۰۱۲	۰/۱۳۴	۰/۱۳۱	۰/۰۲۳	۰/۰۳۸
$\Sigma (PI)$	۰/۱۸۸	۰/۱۵۳	۰/۳۳۷	۰/۰۷۹	۰/۲۰۵	۰/۱۳۵	۰/۱۱۵	۰/۰۴۵
$(Pt)^{0.5}$	۰/۲۳۵	۰/۱۵۶	۰/۰۷۲	۰/۰۳۷	۰/۲۲۲	۰/۴۴۹	۰/۰۳۳	۰/۰۵۲
P	۰/۱۵۶	۰/۰۶۸	۰/۱۹۳	۰/۰۲۶	۰/۱۳۰	۰/۱۸۷	۰/۰۱۱	۰/۰۵۰

جدول ۴- امتیاز مقادیر ضرایب همبستگی معنی دار شاخص فرساینده

ضرایب همبستگی	۰/۵-۰/۶	۰/۶-۰/۷	۰/۷-۰/۸	۰/۸-۰/۹	>۰/۹
امتیاز	۱	۲	۳	۴	۵

در نهایت با بررسی صورت گرفته از بین شاخص های فرساینده مبنی بر شدت بارندگی، شاخص EI_{30} به طور مشترک همبستگی بالایی را با رسوب خروجی نشان داد و شاخص فرساینده مناسب برای استان مرکزی محسوب شد. در تحقیقات صادقی (۱۳۸۳)، مرادی و همکاران (۱۳۸۵)، علی پور و همکاران (۱۳۸۹) حکیم خانی و حکیم خانی (۱۳۸۹)، لعل (۱۹۹۸) و ملو^۱ و همکاران (۲۰۱۳) نیز حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای باران به عنوان شاخص فرساینده معرفی شد. در این تحقیق مقدار برابر $37/52$ مگاژول میلی متر در هکتار در ساعت بدست آمد که با میانگین ۲۴ به دست آمده از تحقیق حکیم خانی و همکاران (۱۳۸۶) تفاوت دارد. هر چند بخش قابل توجه استان مرکزی در حوضه دریاچه نمک قرار دارد، اما باید به این نکته توجه داشت که شاخص بدست آمده در استان مرکزی مربوط به منطقه ای کوهستانی و با بارش بیشتر از میانگین حوضه دریاچه نمک است.

با توجه به نتایج بدست آمده و دستاوردهای کلی این تحقیق، به منظور افزایش دقت آن توصیه می شود پراکنش کرت های فرسایش بهبود داده شود به نحوی که بتوان استان را به وسیله آنها تحت پوشش قرار داد. همچنین، طول دوره آمار برداری از مقادیر شدت، مقدار بارندگی و رسوب خروجی متناظر آنها نیز بیشتر شود، این امر می تواند نتایج دقیق تری را سبب شود. همچنین در صورت اندازه گیری سایر پارامترهای بارندگی از قبیل قطر و سرعت سقوط ذرات، می توان علاوه بر شاخص های فرساینده مبنی بر شدت و مقدار بارندگی، شاخص های مبنی بر قطر و سرعت سقوط ذرات را نیز مورد مطالعه قرار داد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر گرفته از پژوهشی با عنوان " بررسی و تعیین مناسب ترین شاخص فرساینده باران در استان مرکزی " است که در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به انجام رسیده است. بدین وسیله نویسندگان مقاله از مساعدت های این مرکز و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و همکاران محترم پروژه تشکر و قدردانی می نمایند.

منابع

۱. آقارزی، ح.، داودی راد ع.ا.، گنجعلی، ن.، (۱۳۸۹)، تبدیل دیم زارهای کم بازده به کشاورزی ترکیبی، همایش کشاورزی حفاظتی و توسعه پایدار، ۵-۸ اردیبهشت، شیراز، ۷ص.
۲. آقارزی، ح.، قدوسی، ج.، (۱۳۸)، بررسی رابطه کاربری اراضی و شیب با فرسایش خاک و تولید رسوب، مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک، ۳۶۲-۳۶۸.
۳. اسمعیلی، ا.، عابدینی، م.، کاویان، ع.، سعادت، ح.، (۱۳۸۹)، بررسی روابط بین قدرت فرساینده باران با تولید رسوب با استفاده از تکنیک زمین آمار و GIS در استان اردبیل، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری، ۴(۱۰): ۵۱-۵۵.
۴. حکیم خانی، ش. و حکیم خانی، ا.، (۱۳۸۹)، تهیه نقشه فرساینده باران برای استان لرستان، پژوهش های آبخیزداری، ۸۹، ۶۲-۷۲.
۵. حکیم خانی، ش.، مهدیان، م.ح.، عرب خدری، م.، (۱۳۸۶)، تهیه نقشه فرساینده باران برای حوضه دریاچه نمک، نشریه منابع طبیعی، ۶۰(۳)، ۷۱۳-۷۲۶.
۶. صادقی، ح.، (۱۳۸۳)، بررسی تغییرات مکانی شاخص فرساینده در استان مازندران. طرح پژوهشی سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان مازندران، ۱۵۰ ص.
۷. علی پور، زت.، مهدیان، م. ح.، حکیم خانی، ش.، سعیدی، م.، (۱۳۸۹)، محاسبه و برآورد شاخص های Lal, EI_{30} هادسون و $Onchev$ در حوضه دریاچه نمک، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ۱۴(۴)، ۱۴۱-۱۵۷.
۸. مرادی، ح.ر.، بهزادفر، م.، صادقی، س.ح.ر.، (۱۳۸۵)، بررسی ارتباط بین پارامترهای بارندگی و عامل فرساینده باران در استان خوزستان، مجله علمی کشاورزی، ۲۹(۴)، ۶۹-۸۳.
۹. نیک کامی، د.، مهدیان، م.ح.، (۱۳۹۳)، تهیه نقشه شاخص مناسب فرساینده باران کشور، مجله علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶(۴)، ۳۶۴-۳۷۶.
۱۰. واعظی، ع.ر.، رستمی، ی.، (۱۳۹۵)، ارائه شاخص فرساینده باران بر اساس اندازه گیری های صحرائی هدر رفت خاک در کرت های کوچک در منطقه ی نمیه خشک، نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۰(۳۵)، ۹-۱۴.
۱۱. همتی، م.، احمدی، ح.، نیک کامی، د.، زهتابیان، غ.ر.، (۱۳۸۶)، تعیین بهترین شاخص فرساینده باران در اقلیم نیمه خشک سرد ایران، مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبوده علیا-کرمانشاه. چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، مدیریت حوضه های آبخیز.
12. Bissonnais, Y.L., Monitor, C., Jamagne, M., Daroussin, J. and King, D., (2001), **Mapping erosion risk for cultivated soil in France**, Catena 46, 207-220.
13. Rejman, J., Turski, R., Paluszek, J., (1998), **Spatial and temporal variability in erodibility of loess soil**, Soil & Tillage Research, 46, 61-68.
14. Lal, R., (1976), **Soil erosion on alfisols in western Nigeria, III, effects of rainfall characteristics**, Geoderma, 16, 389-401.
15. Lal, R., (1998), **Drop size distribution and energy load of rainstorms at Ibadan, western Nigeria**, Soil & Tillagr Research, 48, 103-114.
16. Mello, C.R., Viola, M.R., Beskow, S. Norton, L.D., (2013), **Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil**, Geoderma, 202, 88-102.

17. Nicolau, J.M., (2002), **Runoff generation and routing on artificial slopes in a Mediterranean continental environment: the Teruel Coal field, Spain**, Hydrological Processes, 16, 631-647.
18. Wichmeier, W.H., Smith, D.D., (1978), **Predicting rainfall losses-a guide to conservation planning**, Agriculture Handbook No. 537, US Department of Agriculture, Washington, DC.
19. Sharifah Mastura, S.A, Al-Thom, S., Jaafar, O., (2003), **Rain splash erosion: a case study in Tekala River catchment, East Selangor**, Malaysian Journal of Society and Space, 4, 44-59.