



مجله علمی مهندسی منابع آبی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیستم، شماره پنجم، ۱۳۹۲

<http://jwsc.gau.ac.ir>

تعیین شاخص مناسب فرساینده‌گی باران با استفاده از کرت‌های فرسایش خاک در استان سمنان

*الهه موسوی‌کیاسری^۱، داوود نیک‌نامی^۲، محمدحسین مهدیان^۳ و ابراهیم پذیرا^۴

^۱دانش‌آموخته دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران،

^۲دانشیار مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی، تهران، ایران،

^۳استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۱۰

چکیده

شاخص فرساینده‌گی باران به‌منظور برآورد صحیح میزان تلفات خاک در اثر فرسایش آبی، یکی از پارامترهای ضروری است. بنابراین، شاخص فرساینده‌گی باران که در هر منطقه استفاده می‌شود باید دقیق باشد. هدف این پژوهش، بررسی روابط رگرسیونی بین شاخص‌های فرساینده‌گی باران و تلفات خاک از کرت‌های آزمایشی پس از وقایع منفرد بارش، به‌منظور تعیین شاخص مناسب مبتنی بر شدت بارندگی در استان سمنان است. به این منظور، وقایع بارندگی سال‌های ۸۹-۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقاتی جاشلوبار استان سمنان، با استفاده از باران‌نگار ثبت گردید. هم‌چنین، مقادیر تلفات خاک پس از هر واقعه بارندگی، از کرت‌هایی با ابعاد استاندارد، در دو طبقه شیب ۳ و ۱۵ درصد با ۳ تکرار جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. سپس مقادیر بارندگی، حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف و انرژی کل باران، به‌همراه سایر پارامترهای بارندگی، برای محاسبه شاخص‌های مختلف محاسبه و روابط بین این شاخص‌ها و مقادیر رسوب متناظر آن‌ها بررسی شد. با تجزیه و تحلیل آماری رابطه‌های نام برده، شاخص $\sqrt{P} \times (I_{\text{P}})^2$ با $r=0/651$ و معنی‌داری در سطح ۱ درصد، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص تشخیص داده شد. در ضمن، میانگین بلندمدت شاخص انتخابی و ۷ شاخص مبتنی بر مقدار بارندگی، در ۱۰ ایستگاه مجهز به باران‌نگار در سطح استان سمنان، طی یک دوره آماری ۲۵ ساله، تعیین شد. برای تخمین شاخص انتخابی، رابطه‌های رگرسیونی بین شاخص انتخابی و شاخص‌های مبتنی بر مقدار

*مسئول مکاتبه: emk_moussavi@yahoo.com

بارندگی بررسی شد. میانگین بارش سالانه، انحراف معیار بارش سالانه و حداکثر بارش ماهانه از جمله شاخص‌هایی بودند که همبستگی خوبی (به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸۲ و ۰/۸۱) را در سطح ۱ درصد، با شاخص انتخابی نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، شاخص فرساینده‌گی باران، کورت فرسایش

مقدمه

فرسایش خاک یک مشکل مهم اجتماعی و اقتصادی و یک عامل ضروری در ارزیابی سلامتی و کارکرد اکوسیستم است (چملووا و ساراپاتکا، ۲۰۰۲). برای اتخاذ تصمیم مناسب به منظور کنترل فرسایش و کاهش اثرات آن؛ شناخت عوامل مؤثر و برآورد صحیح از میزان تلفات خاک بسیار مهم است. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک، باران است.

در بررسی‌های مربوط به فرسایش و رسوب، به منظور کمی‌کردن عامل فرساینده‌گی باران، شاخص‌های مختلفی بر مبنای خصوصیات مختلف باران مانند شدت و انرژی مد نظر قرار می‌گیرد.

شاخص‌هایی مانند EI_p (سیلز و همکاران، ۲۰۰۲)؛ $\frac{P}{\sqrt{t}}$ (اونچو، ۱۹۹۴)؛ $KE > 1$ (نانکو و

همکاران، ۲۰۰۴) و AI_m (لال، ۱۹۷۶)، از معروف‌ترین شاخص‌های فرساینده‌گی هستند. نکته مهم این است که این شاخص‌ها از نظر منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه‌گیری متفاوت هستند. بیش‌ترین تأثیری که متفاوت بودن شرایط اقلیمی بر فرسایش آبی دارد، تأثیری است که این عامل بر فرساینده‌گی باران می‌گذارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین، قبل از اجرای طرح‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش، لازم است تا شاخص فرساینده‌گی مناسب منطقه تعیین شود تا برآورد صحیحی از میزان فرسایش خاک داشت. از سویی دیگر، یکی از محدودیت‌های شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی این است که به آمار شدت بارندگی (با فواصل زمانی کوتاه‌مدت) ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به باران‌نگار نیاز دارند. چنین آماری در بیش‌تر نقاط دنیا، به‌خصوص برای دوره‌های زمانی طولانی‌مدت وجود ندارد و فرآیند محاسبه آن‌ها نیز وقت‌گیر و مشکل است (سیلوا، ۲۰۰۴).

با بررسی منابع موجود، به نظر می‌رسد که پژوهش‌های انجام شده در کشور در ارتباط با تعیین شاخص مناسب فرساینده‌گی باران کافی نباشد. در پژوهشی که به بررسی ارتباط بین پارامترهای بارندگی و فرساینده‌گی باران در استان خوزستان انجام شد، نتایج آنالیز رگرسیونی بیانگر ارتباط بالای

فرساینده‌گی با مقدار و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران بود (مرادی و همکاران، ۲۰۰۶). پژوهش دیگری در استان کرمانشاه، توسط همتی (۲۰۰۷)، انجام گرفت که براساس اطلاعات باران‌نگار و کرت‌های جمع‌آوری رسوب، شاخص EI_p به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص معرفی شد.

قربانپور و همکاران (۲۰۰۵) براساس رابطه توانی به‌دست آمده بین شاخص EI_p و میانگین بارندگی سالیانه، شاخص فرساینده‌گی باران را برای منطقه بابلسر برآورد نمودند. حکیم‌خانی و همکاران (۲۰۰۸)، با توجه به محدودیت ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار، برای تهیه نقشه فرساینده‌گی باران برای حوزه دریاچه نمک، از آمار ۲۰ ساله ۱۸۲ ایستگاه برای محاسبه شاخص فورنیه استفاده کردند. شریفان (۲۰۰۸)، با استفاده از آمار ۱۰ ساله ایستگاه سینوپتیک گرگان، شاخص EI_p را محاسبه نمود و سپس رابطه بین این شاخص و پارامترهایی مانند میزان بارندگی، حداکثر باران روزانه، باران سالانه و... را بررسی نمود. علی‌پور و همکاران (۲۰۱۰)، نیز با بررسی شاخص فرساینده‌گی باران در حوزه دریاچه نمک، ابتدا شاخص EI_p را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب نمود. سپس، رابطه‌های رگرسیونی بین این شاخص و پارامترهای سهل‌الوصول بارندگی را بررسی نموده و بهترین رابطه را برای برآورد شاخص EI_p ، در ایستگاه‌های بدون باران‌نگار در حوزه بالا تعیین نمود.

در نقاط مختلف دنیا، بررسی‌هایی با هدف تعیین شاخص فرساینده‌گی مناسب باران که مختص شرایط اقلیمی و خصوصیات باران‌های آن منطقه باشد، انجام شده که به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود. به‌منظور اصلاح شاخص فرساینده‌گی باران تحت اقلیم مدیترانه‌ای در ایتالیا، یوسون و راموس (۲۰۰۱)، حاصل‌ضرب انرژی جنبشی کل در حداکثر شدت ۵ دقیقه‌ای باران (EI_5) را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص، تشخیص دادند. در پژوهشی که به‌منظور بررسی فرسایش پاشمانی در ناحیه‌ای جنگلی در آب‌گیر رودخانه تکالا در مالزی انجام شد، شاخص‌هایی مانند متوسط شدت بارندگی، EI_p و I_p ، بالاترین ضرایب همبستگی را با فرسایش پاشمانی داشت (شاریفاه ماستورا و همکاران، ۲۰۰۳). در منطقه اوکیناوا در ژاپن، فاکتورهایی مانند PI_p و PI_{p1} در مقایسه با I_p و I_{p1} همبستگی بهتری را با تلفات خاک نشان داد (یوشی‌هیرو، ۲۰۰۳). به‌منظور بررسی اثرات خصوصیات مختلف باران بر رواناب و فرسایش تحت یک اقلیم مدیترانه‌ای، ابوحماد و همکاران (۲۰۰۵)، پژوهشی انجام دادند. نام‌برندگان با پایش ۲ ساله داده‌های بارش و رسوب دریافتند که انرژی جنبشی باران در مقایسه با EI_p ، I_p و مدت زمان رگبار، همبستگی بهتری را با تلفات خاک نشان می‌دهد. در بررسی فرسایش خاک ناحیه‌ای کوهستانی در جنوب‌شرقی یونان در چین، زیشنگ و همکاران (۲۰۱۰)،

ضرایب همبستگی بین میزان تلفات خاک از اراضی شیب‌دار را با برخی پارامترهای بارندگی بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند که میزان تلفات خاک بالاترین همبستگی را با I_p نشان می‌دهد. در پژوهشی برای ناحیه‌ای نیمه‌مدیترانه‌ای در جنوب‌غربی اسلوونی، رابطه‌هایی از نوع توانی بین شاخص فرساینده‌گی ماهانه و مجموع مربعات بارش روزانه، برقرار شد (پتکووسک و میکوس، ۲۰۰۴). در پژوهش دیگری در منطقه مدیترانه‌ای ایتالیا، دیودیتو (۲۰۰۵)، با استفاده از داده‌های ۵ ایستگاه، مقادیر شاخص فرساینده‌گی سالانه باران را برآورد نموده و رابطه بین این ضریب با پارامترهای مختلف بارندگی مانند باران سالانه، حداکثر باران روزانه و حداکثر باران یک‌ساعته را مورد بررسی قرار داده و معادله‌هایی را به دست آورد. در نیجریه، سالاکو (۲۰۰۷)، میانگین درازمدت سالانه دو شاخص EI_p و EI_h را در ۱۷ ایستگاه محاسبه کرده و معادله‌هایی از نوع توانی بین شاخص‌های نام برده و مقادیر روزانه بارش به دست آورد. در پژوهش نام برده، با توجه به حاکم بودن اقلیم گرمسیری، شاخص EI_h برای محاسبه مقادیر ماهانه و سالانه تلفات خاک مناسب تشخیص داده شد. در منطقه‌ای در پنین سولار مالزی، شامشاد و همکاران (۲۰۰۸)، برای تخمین مقادیر ماهانه شاخص EI_p با استفاده از داده‌های سهل‌الوصول، از سه روش استفاده نمودند که یکی از آن‌ها استفاده از شاخص فورنیه بود.

با توجه به مطالب مطرح شده در بالا، تعیین شاخص مناسب فرساینده‌گی باران که متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه باشد، برای پیش‌بینی صحیح‌تر مقدار فرسایش خاک امری ضروری است. از سویی دیگر، پیش‌بینی شاخص فرساینده‌گی مبتنی بر شدت، با تکیه بر داده‌های سهل‌الوصول بارندگی در مناطق بدون باران‌نگار ثبات، باعث صرف وقت و هزینه کم‌تری خواهد شد. بنابراین، هدف این پژوهش، تعیین شاخص مناسب فرساینده‌گی بارندگی در استان سمنان و پیش‌بینی شاخص انتخابی در ایستگاه‌های باران‌سنجی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در استان سمنان انجام شد. استان سمنان با مساحتی نزدیک به ۹۶۰۰۰ کیلومتر مربع در حاشیه شمالی حوضه آبریز کویر مرکزی ایران و در موقعیت جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۱۴ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۱۹ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. بخش کوچکی از نوار شمالی استان در حوضه آب‌خیز دریای

خزر و بقیه در کویر مرکزی ایران واقع شده است. ۳۰ درصد از وسعت استان را ارتفاعات، ۲۵ درصد دشت و ۴۵ درصد را مناطق کویری و بیابانی تشکیل می‌دهد. کوه شاهوار با ارتفاع بیش از ۳۹۰۰ متر و دشت کویر با ارتفاع کم‌تر از ۷۰۰ متر به ترتیب بلندترین و پست‌ترین نقاط استان محسوب می‌گردند. به‌طورکلی، استان دارای اقلیم نیمه‌بیابانی است و میانگین بارندگی سالیانه آن، ۱۴۵ میلی‌متر است. ایستگاه تحقیقاتی مدیریت دام و مرتع جاشلوبار با دارا بودن باران‌نگار ثبات و کرت‌های جمع‌آوری رسوب، به‌عنوان مکان پژوهش انتخاب شد (شکل ۱). این ایستگاه با مساحتی حدود ۲۴۸۵ هکتار در ۵۵ کیلومتری شمال‌غرب سمنان واقع گردیده است. ایستگاه تحقیقاتی جاشلوبار بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و طول‌های جغرافیایی ۵۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه واقع شده است. متوسط وزنی ارتفاع در حوزه نام برده، ۲۷۲۷ متر از سطح دریا می‌باشد. شیب متوسط حوزه نیز ۳۱/۶۷ درصد است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه تحقیقاتی جاشلوبار در استان سمنان.

آمار و اطلاعات: ۶ کرت جمع‌آوری رسوب، در قالب دو شیب (۳ و ۱۵ درصد) و ۳ تکرار، با ابعاد استاندارد (۲۲/۱ در ۱/۸ متر) و به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در محل انجام طرح (ایستگاه جاشلوبار) مستقر بود. کرت‌ها دارای پوشش گیاهی یکسان مرتعی و از نوع بالشتکی بودند. به منظور جمع‌آوری رواناب و رسوب به دست آمده از وقایع بارندگی، مخازنی در انتهای کرت‌ها نصب شد. طی ۲ سال متمادی، سال‌های ۸۸-۱۳۷۸، ۱۸ واقعه بارندگی منجر به رواناب و رسوب اتفاق افتاد که پس از هر واقعه، رواناب و رسوب مخازن جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. به منظور حذف اثر رطوبت قبلی خاک، بارش‌هایی که در روزهای متوالی و یا با فاصله کم‌تر از ۷ روز حادث شده بود، حذف شد. به این ترتیب، در مجموع، ۱۱ واقعه منفرد بارندگی با استفاده از باران‌نگار ثابت به همراه آمار و اطلاعات رواناب و رسوب کرت‌ها جمع‌آوری گردید.

تعیین شاخص مناسب فرساینده‌گی باران در ایستگاه جاشلوبار: به منظور دستیابی به مقادیری از فرساینده‌گی باران که نماینده استان باشد، این پژوهش در ۲ مرحله برنامه‌ریزی شده است. در مرحله اول، در ایستگاه جاشلوبار که مجهز به باران‌نگار ثابت و کرت‌های جمع‌آوری رسوب بود، شاخص مناسب فرساینده‌گی باران (مبتنی بر شدت بارندگی) تعیین شد. در مرحله بعدی، در ایستگاه‌های دارای باران‌نگار ثابت موجود در سطح استان، که شدت بارندگی قابل اندازه‌گیری بود، رابطه بین شاخص انتخاب شده در مرحله اول و شاخص‌های سهل‌الوصول (مبتنی بر مقدار بارندگی)، بررسی شد.

مقادیر بارش‌ها در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه با استفاده از باران‌نگار ثابت مستقر در محل انجام طرح، ثبت شد. به این ترتیب، با انجام عملیات درون‌یابی، مقدار بارش به‌ازای هر دقیقه از زمان به دست آمد. سپس حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه، به همراه سایر پارامترهای تشکیل‌دهنده شاخص‌ها برای هر واقعه منفرد بارندگی، محاسبه و یا استخراج شد. در آخر، شاخص‌های مختلف فرساینده‌گی باران، برای هر واقعه منفرد بارش محاسبه شد (جدول ۱). در میان شاخص‌های محاسبه شده، از ۱۳ رابطه مختلف انرژی جنبشی استفاده شد که شامل ویشمایر و اسمیت؛ مارشال و پالمر؛ زانچی و توری؛ اوناگا، شیرای و یوشیناگا؛ کوتینهو و توماس؛ کرو و همکاران؛ کینل؛ برند (سیلز و همکاران، ۲۰۰۲)، جایاواردنا و رزاور (۲۰۰۰)؛ نیسن (۲۰۰۵)؛ وان‌دیجک و همکاران (۲۰۰۲)؛ غلیزاده (۲۰۰۲) و براون و فوستر (سیلز و همکاران، ۲۰۰۲) است. برای شاخص‌هایی که انرژی جنبشی یکی از پارامترهای تشکیل‌دهنده آن‌ها بود، محاسبه انرژی جنبشی کل با استفاده از رابطه ۱ که توسط ویشمایر و اسمیت ارائه شده (سیلز و همکاران، ۲۰۰۲)، صورت گرفت.

$$E = 11/87 + 8/73 \text{Log}_e I \quad (1)$$

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

برای محاسبه قطر میانه ذرات بارش در شاخص‌هایی که این پارامتر یکی از اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها بود نیز از رابطه ۲ پیشنهادی لاوز و پارسون (سیلز و همکاران، ۲۰۰۲)، استفاده شد.

$$D_{50} = 1/238 \times I^{0.182} \quad (2)$$

که در آن، D_{50} : قطر میانه ذرات بارش (میلی‌متر) و I : شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد. در نهایت، شاخص‌های ارایه شده در جدول ۱، برای هر واقعه منفرد بارندگی به‌عنوان متغیر مستقل و میزان رسوب بعد از هر واقعه بارندگی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. رابطه‌های همبستگی بین شاخص‌های نام برده و مقادیر رسوب خروجی از کرت‌های آزمایشی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و ضرایب همبستگی و سطح معنی‌داری آن‌ها به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص بررسی شد. رابطه‌های بین شاخص انتخابی (مبتنی بر شدت بارندگی) و شاخص‌های سهل‌الوصول (مبتنی بر مقدار بارندگی): برای بررسی رابطه بین شاخص انتخابی و شاخص‌های سهل‌الوصول از آمار بلندمدت (آمار ۲۵ ساله)، ۱۰ ایستگاه مجهز به باران‌نگار در سطح استان، که دارای اطلاعات مقدار و شدت بود، استفاده شد. مقادیر روزانه شاخص انتخابی برای دوره آماری ذکر شده با استفاده از داده‌های شدت بارندگی ثبت شده به‌ازای هر دقیقه از زمان بارش، محاسبه شد. برای محاسبه میانگین شاخص فرساینده‌گی سالیانه از رابطه براون و فوستر (مارتینز و همکاران، ۲۰۰۹)، استفاده شد.

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{mj} (r)_k \quad (3)$$

که در آن: n : تعداد سال‌های ثبت شده، m_j : تعداد رگبارهای فرساینده به‌وقوع پیوسته برای هر سال معین و r : شاخص فرساینده‌گی برای واقعه منفرد r است. بنابراین، فاکتور R ، مقدار میانگین R تجمعی سالانه در طول دوره آماری معین است. به این ترتیب، میانگین بلندمدت سالانه شاخص انتخابی و ۷ شاخص سهل‌الوصول در تمامی این ایستگاه‌ها محاسبه و سپس رابطه بین آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت مناسب‌ترین رابطه با دارا بودن بالاترین ضریب همبستگی معنی‌دار برای برآورد مقدار شاخص انتخابی (مبتنی بر شدت بارندگی) در ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در سطح استان که بدون آمار شدت هستند مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی محاسبه شده در محل انجام طرح (ایستگاه جاشلوبار).

تعریف شاخص	نماد
حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه (میلی‌متر بر ساعت)	I_m
انرژی جنبشی بارش (ژول بر مترمربع بر میلی‌متر)	KE
مجموع مربعات حاصل‌ضرب مقادیر جزئی انرژی جنبشی در مقادیر بارش‌های مربوطه (ژول بر مترمربع)	$\sum_{i=1}^n KE^2$
حاصل‌ضرب انرژی جنبشی در حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف (ژول میلی‌متر بر مترمربع بر ساعت)	EI_m
مقدار بارش به‌ازای حداکثر شدت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه‌ای (میلی‌متر)	P_m
شاخص‌های ترکیبی از انرژی جنبشی کل باران (ژول بر مترمربع) و d (قطر میانه قطرات بارش بر حسب میلی‌متر)	$KE \times d$, $KE \times d^2$, $KE \times \sqrt{d}$
شاخص‌های ترکیبی از P (مقدار کل بارش) و حداکثر شدت بارش ۳۰ و ۶۰ دقیقه‌ای (میلی‌متر بر ساعت)	KE/d , KE/d^2 , KE/\sqrt{d}
مجموع انرژی جنبشی بارش با شدت‌هایی (میلی‌متر بر ساعت) بیش‌تر از محدوده‌های ذکر شده	$P \times I_{\gamma_1}$, $P \times I_{\gamma_2}$, $P \times \sqrt{I_{\gamma_1}}$, $\sqrt{P} \times I_{\gamma_1}$, $\sqrt{P} \times I_{\gamma_2}$
شاخص مقدار کل بارش (میلی‌متر) و جذر حاصل‌ضرب مقدار در زمان کل بارش (t) بر حسب دقیقه	$KE > 1, 2/5, 5, 10, 25$
شاخص‌های ترکیبی از مقدار کل بارش (میلی‌متر) و قطر میانه قطرات بارش (میلی‌متر)	P, \sqrt{Pt}
شاخص حاصل‌ضرب $\sum(P.I)$ (مجموع حاصل‌ضرب مقادیر جزئی بارش در شدت‌های مربوطه بر حسب میلی‌متر بر ساعت) در حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه	$d \times P, d^2 \times P$
شاخص‌های ترکیبی از مقدار (میلی‌متر)، شدت (میلی‌متر بر ساعت) و قطر میانه قطرات بارش (میلی‌متر)	R_m
	$\sum(P.I), (\sum(P.I))d, d \times I$

شاخص‌های سهل‌الوصول شامل میانگین بارش سالانه، انحراف معیار بارش سالانه، حداکثر بارش ماهانه، انحراف معیار حداکثر بارش ماهانه، فورنیه (مونکا و همکاران، ۲۰۰۸)، فورنیه اصلاح شده (یوکسل و همکاران، ۲۰۰۸) و شاخص سیساسی (گراسو و همکاران، ۲۰۰۷)، می‌باشند که رابطه‌های ۴ تا ۶، به ترتیب بیانگر سه شاخص آخر هستند.

$$F = \frac{P^{\sum}}{P} \quad (4)$$

که در آن، F : شاخص فورنیه، P : متوسط مقدار بارش در مرطوب‌ترین ماه سال (میلی‌متر) و P : متوسط مقدار بارش سالانه (میلی‌متر) می‌باشد.

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{\sum} P_i^{\sum}}{P} \quad (5)$$

که در آن، $M.F$: شاخص فورنیه اصلاح شده، P_i : متوسط بارندگی ماه i ام (میلی‌متر) و P : متوسط بارندگی سالانه در طول دوره آماری (میلی‌متر) می‌باشد.

$$C_i = P \times \sigma_m \quad (6)$$

که در آن، C_i : شاخص سیساسی، P : متوسط مقدار بارش سالانه (میلی‌متر) و σ_m : متوسط انحراف معیار بارش‌های ماهانه (میلی‌متر) می‌باشد.

در ارتباط با ایستگاه‌های باران‌سنجی، اطلاعات مربوط به مقادیر بارش‌های روزانه از ۷۰ ایستگاه در استان سمنان در اختیار بود، ولی ۴۰ ایستگاه به‌علت داشتن طول دوره آماری پایین (کم‌تر از ۱۰ سال) حذف شد. در نهایت، ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی دارای آمار بلندمدت در استان، برای محاسبه شاخص‌های سهل‌الوصول انتخاب شد. قبل از محاسبه این شاخص‌ها، با توجه به طول دوره آماری ایستگاه‌ها، دوره آماری ۲۵ سال (۱۹۸۵-۲۰۰۵) به‌عنوان پایه زمانی مشترک در نظر گرفته شد. کیفیت آمار هر یک از ایستگاه‌های انتخابی از طریق بررسی مقادیر خیلی‌زیاد و خیلی‌کم آمار بارندگی روزانه و مقایسه آن‌ها با بعضی از ایستگاه‌های مجاور انجام و در صورت مشاهده مقادیر خیلی متفاوت نسبت به تعدیل و یا حذف آن‌ها اقدام شد. بررسی همگنی آمار با استفاده از آزمون جرم مضاعف (آلانسی و

همکاران، ۲۰۰۹)، انجام گرفت. در روش نام برده، طی دوره آماری مشترک، بارندگی سالانه تجمعی ایستگاه مورد مطالعه با بارندگی سالانه از ۵ ایستگاه سینوپتیک مجاور در مقابل هم ترسیم شد. در صورت انحراف قابل توجه نقاط به دست آمده از خط مستقیم به مدت بیش از ۵ سال، آمار ایستگاه مربوطه همگن شد. پس از بررسی صحت و همگنی آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی، نواقص آماری آن‌ها با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله انجام شد. در آخر، نسبت به محاسبه شاخص‌های سهل‌الوصول و سپس برآورد شاخص انتخابی (مبتنی بر شدت بارندگی) اقدام شد.

نتایج و بحث

میانگین مقدار تلفات خاک از کرت‌های آزمایشی پس از هر واقعه منفرد بارش در جدول ۲ نشان داده شده است. همه شاخص‌های ارایه شده در جدول ۲، محاسبه شده و ضرایب همبستگی بین آن‌ها و مقادیر تلفات خاک متناظر و نیز معنی‌داری آن‌ها از نظر آماری، بررسی شد (جدول ۳).

جدول ۲- میانگین مقدار تلفات خاک (گرم بر لیتر) پس از هر واقعه منفرد بارش در ایستگاه جاشلوبار.

تاریخ	میانگین مقدار تلفات خاک
۱۳۸۷/۰۱/۲۵	۷/۱۳
۱۳۸۷/۰۲/۳۱	۱/۲۸
۱۳۸۷/۰۸/۱۳	۱۵/۸۶
۱۳۸۷/۰۲/۱۶	۴/۶۱
۱۳۸۷/۰۳/۱۸	۴/۴۹
۱۳۸۷/۰۳/۲۹	۶۲/۱۶
۱۳۸۷/۰۶/۰۸	۱۵/۰۰
۱۳۸۷/۰۶/۲۶	۷/۷۳
۱۳۸۷/۰۸/۱۲	۶۰/۰۶
۱۳۸۹/۰۱/۲۰	۵/۰۵
۱۳۸۹/۰۲/۰۴	۰/۹۹

جدول ۳- ضرایب همبستگی میان تلفات خاک و شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی در ایستگاه جاشلوبار.

مقدار	شاخص	مقدار	شاخص	مقدار	شاخص
۰/۵۶۷	$KE > ۲/۵$	۰/۴۴۹	$EI_{۱۰}$	-	$I_{max ۵}$
۰/۳۹۴	$KE > ۵$	۰/۵۶۸	$EI_{۱۵}$	۰/۳۹۵	$I_{max ۱۰}$
۰/۵۲۰	$KE > ۲۵$	۰/۶۳۰*	$EI_{۳۰}$	۰/۴۸۸	$I_{max ۱۵}$
۰/۳۶۷	$KE > ۱۰$	۰/۶۳۱*	$EI_{۶۰}$	۰/۶۲۱**	$I_{max ۳۰}$
۰/۵۷۴	P	۰/۵۷۴	$EI_{۱۲۰}$	۰/۶۴۲**	$I_{max ۶۰}$
۰/۳۶۳	$\sqrt{P \times t}$	۰/۶۲۴*	$P_{۳۰}$	۰/۵۵۲	$I_{max ۱۲۰}$
۰/۶۰۵*	$\sum(P \times I)$	۰/۶۰۹*	$P_{۶۰}$	۰/۶۱۴*	$\sum_{i=1}^n KE^{\tau}$
۰/۵۹۳	$d \times P$	۰/۵۸۱	$KE \times d^{-۲}$	۰/۶۱۰*	$KE_۱$
۰/۵۸۹	$(d)^{\tau} \times P$	۰/۶۱۰*	$KE \times d^{-۱}$	۰/۶۱۱*	KE_{τ}
۰/۵۴۰	$d \times I$	-	$PI_{۷/۵}$	۰/۶۱۲*	KE_{τ}
۰/۵۹۴	$(\sum(P \times I)) \times d$	۰/۶۳۴*	$PI_{۳۰}^{\tau}$	۰/۶۱۲*	KE_{ξ}
۰/۶۰۷*	$R_{۳۰}$	۰/۶۳۷*	$PI_{۳۰}$	۰/۶۱۲*	KE_{θ}
۰/۶۱۶*	$R_{۶۰}$	۰/۶۳۶*	$P\sqrt{I_{۳۰}}$	۰/۶۱۱*	KE_{γ}
۰/۴۸۶	$R_{۱۰}$	۰/۶۴۳**	$\sqrt{PI_{۳۰}}$	۰/۶۲۴*	KE_{ν}
۰/۳۹۵	$P_{۱۰}$	۰/۶۳۶*	$\sqrt{PI_{۳۰}^{\tau}}$	۰/۵۹۲	KE_{λ}
۰/۶۰۲*	$KE \times d$	۰/۶۳۷*	$PI_{۶۰}$	۰/۶۱۵*	KE_{ρ}
۰/۵۹۵	$KE \times d^{\tau}$	۰/۶۳۱*	$P\sqrt{I_{۶۰}}$	۰/۶۲۵*	KE_{μ}
۰/۶۰۷*	$KE \times \sqrt{d}$	۰/۶۵۰**	$\sqrt{PI_{۶۰}}$	۰/۶۰۱*	KE_{η}
۰/۶۳۴*	$\frac{KE}{\sqrt{d}}$	۰/۶۵۱**	$\sqrt{PI_{۶۰}^{\tau}}$	۰/۶۱۶*	KE_{ν}
۰/۵۳۸	$I^{۱/۵}$	۰/۶۴۰**	$PI_{۶۰}^{\tau}$	۰/۶۲۶*	KE_{ν}
۰/۵۲۴	I^{τ}	۰/۶۱۲*	$KE > ۱$	-	EI_{θ}

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و * معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

بررسی‌ها نشان داد که شاخص $\sqrt{P} \times I_{۶۰}^{\tau}$ با ضریب همبستگی ۰/۶۵۱ و معنی‌داری در سطح ۱ درصد، از بالاترین همبستگی با مقدار تلفات خاک در میان شاخص‌های مورد بررسی برخوردار بود. بررسی ضرایب همبستگی شاخص‌های حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف نیز نشان داد

که I_p با ضریب همبستگی ۰/۶۴۲ و معنی‌داری در سطح ۱ درصد، بیش‌ترین همبستگی را با تلفات خاک دارد. در منطقه اوکیناوا در ژاپن، یوشی‌هیرو (۲۰۰۳)، به ارزیابی رابطه بین مقادیر ماهانه تلفات خاک و فاکتورهای مختلف بارندگی پرداخت. او فهمید که فاکتورهایی مانند PI_p و PI_{p-1} در مقایسه با I_p ، I_{p-1} و I_{p-2} همبستگی بهتری را با تلفات خاک نشان می‌دهند. در جنوب‌شرقی یونان در چین، زیشنگ و همکاران (۲۰۱۰)، ضرایب همبستگی بین میزان تلفات خاک از اراضی شیب‌دار را با برخی پارامترهای بارندگی مانند حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف، بررسی نمودند. در این بررسی، میزان تلفات خاک بالاترین همبستگی را با I_p نشان داد.

در مجموع، شاخص‌هایی که ترکیبی از مقدار بارش و حداکثر شدت ۶۰ دقیقه‌ای بارش بودند، در مقایسه با شاخص‌های ترکیبی از انرژی جنبشی و حداکثر شدت ۶۰ دقیقه‌ای بارش، همبستگی بهتری را با تلفات خاک نشان دادند. مطابق نظر ویشمایر و اسمیت، چون انرژی جنبشی رگبار به‌ازای هر واحد از بارندگی به مقدار زیادی با شدت بارندگی تغییر نمی‌کند، بنابراین انرژی جنبشی کل رگبار تقریباً به‌طور مستقیم متناسب با مقدار بارندگی است (حسین و همکاران، ۱۹۹۴). در پژوهشی که به بررسی رابطه‌های رگرسیونی بین پارامترهای بارندگی و فرسایندهای باران (شاخص EI_p) در استان خوزستان پرداخته بود، نتایج نشان‌دهنده همبستگی بالای فرسایندهای باران و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران بود (مرادی و همکاران، ۲۰۰۶). شاخص‌های EI_p و EI_{p-1} نیز در مقایسه با معادله‌های منفرد انرژی جنبشی، همبستگی بالاتری را نشان دادند که این مسأله نشان‌دهنده کارایی بهتر این شاخص‌ها در مقایسه با معادله‌های منفرد انرژی جنبشی است. همی (۲۰۰۷)، نیز با بررسی رابطه‌های رگرسیونی بین شاخص‌های مختلف فرسایندهای باران و مقادیر تلفات خاک متناظر در استان کرمانشاه، شاخص EI_p را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص معرفی نمود.

شاخص $KE > 1$ نیز در مقایسه با دیگر شاخص‌های این گروه ($KE > 2/5$ ، $KE > 5$ و $KE > 10$) همبستگی بالاتری را با میزان تلفات خاک نشان داد. بنابراین، چنین می‌توان نتیجه گرفت که شدت‌های مساوی و یا بیش‌تر از ۱ میلی‌متر در ساعت، بیش‌ترین تأثیر را در تلفات خاک این منطقه دارند. بیان این مسأله، به معنی نفی تأثیر شدت‌های بیش‌تر از ۲/۵ میلی‌متر در ساعت و یا بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر در ساعت بر میزان تلفات نیست. مقادیر آستانه شدت براساس خصوصیات بارش، به تنهایی و یا رابطه‌های بین بارش و تلفات خاک باید مورد بررسی قرار گیرد (زای و همکاران، ۲۰۰۲). یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان تلفات خاک، پوشش سطحی است. این مسأله به‌خصوص در مناطق

خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی کم داشته و حساس به فرسایش می‌باشند، دارای اهمیت است. بنابراین، وجود پوشش غنی گیاهی در سطح خاک، حفاظت سطحی را بالا برده و باعث افزایش این حد آستانه برای شدت و کاهش میزان رواناب و رسوب به‌دست آمده از بارش می‌شود (مارکوس و همکاران، ۲۰۰۷).

بررسی رابطه‌های بین شاخص‌های سهل‌الوصول و انتخابی در ایستگاه‌های دارای باران‌نگار، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- شیب خط، عرض از مبدأ و ضرایب همبستگی در روابط بین شاخص‌های سهل‌الوصول و شاخص انتخابی در ایستگاه‌های دارای باران‌نگار.

شاخص سهل‌الوصول	نماد	شیب خط	عرض از مبدأ	ضریب همبستگی (r)
میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)	P_{yr}	۸۳۴	۷۳۶/۶۴	۰/۸۳
انحراف معیار بارش سالانه (میلی‌متر)	$\sigma_{P_{yr}}$	۱۷/۱۰	۱۰۳۹/۳	۰/۸۲
حداکثر بارش ماهانه (میلی‌متر)	$P_{m.max}$	۳۹/۶۵	۷۴۴/۵۴	۰/۸۱
انحراف معیار حداکثر بارش ماهانه (میلی‌متر)	$\sigma_{P_{m.max}}$	۸۵/۳۹	۵۸۱/۷۷	۰/۶۸
فورنیه (میلی‌متر)	F	۱۵۲/۷۸	۹۲۳/۹۵	۰/۶۸
فورنیه اصلاح شده (میلی‌متر)	$M.F$	۶۶/۸۷	۶۵۹/۰۵	۰/۷۵
سیاسی (میلی‌متر)	C_i	۰/۴۶	۱۳۹/۸۷	۰/۷۰

همه رابطه‌های نشان داده شده در جدول ۴، از همبستگی خوبی برخوردار بوده و در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشند. ولی با توجه به مقادیر ضرایب همبستگی، رابطه مربوط به میانگین بارش سالانه، از ضریب همبستگی بالاتری برخوردار بود (رابطه ۷).

$$R = ۸/۳۴P_{yr} + ۷۳۶/۶۴ \quad (r = ۰/۸۳) \quad (۷)$$

که در آن، R : $\sqrt{P} \times I_p$ سالانه $(\sqrt{mm} \cdot mm^2 \cdot h^{-2})$ و P_{yr} : میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر می‌باشند. رابطه بالا به‌علت داشتن بالاترین ضریب همبستگی، برای محاسبه شاخص انتخابی در ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی مبنا قرار گرفت. شریفان (۱۳۸۶)، در بررسی رابطه‌های بین فاکتورهای

مختلف بارندگی با شاخص EI_p در ایستگاه سینوپتیک گرگان، رابطه $R_{yr} = ۱/۲۲ \times ۱۰^{-۳} \times \frac{P_{yr}}{T^{۰/۱۲۲}}$

را با بالاترین ضریب همبستگی، به‌عنوان مناسب‌ترین رابطه معرفی کرد. در رابطه بالا، R_{yr} : شاخص فرساینده‌گی سالیانه، P_{yr} : میانگین بارش سالانه و T : دوره بازگشت موردنظر می‌باشد. همچنین، قربان‌پور و همکاران (۲۰۰۵)، برای ایستگاه باران‌سنجی بابلسر، رابطه بین شاخص EL_p و میانگین بارش سالانه (P_{yr}) را به‌صورت $R_{yr} = 0.0002 P_{yr}^{2/31}$ به‌دست آوردند. اختلاف بین رابطه‌های بالا با رابطه به‌دست آمده در این بررسی علاوه‌بر این که به تفاوت شاخص‌های فرساینده‌گی مورد بررسی در این مناطق مربوط می‌شود بلکه به متفاوت بودن نوع بارش‌های مناطق و مقادیر میانگین بارش‌های سالانه نیز نسبت داده می‌شود.

آماره‌های توصیفی مربوط به شاخص انتخابی، میانگین بارش سالانه و ارتفاع ایستگاه‌های باران‌سنجی در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- آماره‌های توصیفی شاخص انتخابی، بارندگی و ارتفاع در ایستگاه‌های باران‌سنجی.

آماره	شاخص $\sqrt{P} \cdot I_p^2$ ($\sqrt{mm} \cdot mm^2 \cdot h^{-2}$)	بارندگی (میلی‌متر)	ارتفاع (متر)
میانگین	۲۰۷۷/۶۲	۱۶۰/۷۹	۱۲۹۰/۶۷
میانه	۱۹۳۱/۸۵	۱۴۳/۳۱	۱۱۷۰/۰۰
واریانس	۱۴۹۳۲۶/۰۹	۲۰۹۰/۶۹	۱۳۳۳۸۹/۷۶
انحراف معیار	۳۸۶/۴۳	۴۵/۷۲	۳۶۵/۲۳
ضریب تغییرات (درصد)	۱۸/۶۰	۲۸/۴۴	۲۸/۳۰
حداقل	۱۷۱۰/۱۷	۱۱۶/۷۳	۸۷۷/۰۰
حداکثر	۳۱۷۸/۵۱	۲۹۲/۷۹	۲۱۰۰/۰۰
چولگی	۱/۱۳	۱/۱۵	۰/۹۹
کشیدگی	۱/۵۵	۱/۸۰	-۰/۴۹

مقادیر چولگی شاخص انتخابی و بارش سالانه بیانگر این است که این دو عامل از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. ضرایب چولگی و کشیدگی برای شاخص انتخابی به‌ترتیب برابر ۱/۱۳ و ۱/۵۵ محاسبه شد. این در حالی است که با توجه به ضرایب چولگی و کشیدگی، داده‌های ارتفاع از توزیع نرمال پیروی می‌کند. کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر شاخص یاد شده، در میان ایستگاه‌های باران‌سنجی

مورد بررسی، به ترتیب برابر $3178/51$ و $1710/17$ ($\sqrt{mm \cdot mm^2 \cdot h^{-2}}$) و میانگین شاخص انتخابی، برابر $2077/62$ بر حسب $\sqrt{mm \cdot mm^2 \cdot h^{-2}}$ ، به دست آمد.

بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی، ۴ ناحیه اقلیمی در استان سمنان وجود دارد که عبارتند از: ۱) اقلیم گرم و خشک (ناحیه جنوبی)، ۲) اقلیم خشک و نیمه‌خشک (ناحیه مرکزی)، ۳) اقلیم سرد و مرطوب (ناحیه کوهستانی) و ۴) اقلیم خزری (ناحیه به نسبت کوچکی از استان واقع در البرز شمالی) (سایت اداره کل هواشناسی استان سمنان، ۲۰۱۱). با توجه به مقادیر شاخص انتخابی در ایستگاه‌های باران‌سنجی، ایستگاه‌هایی با بیشترین مقدار شاخص انتخابی و البته بیشترین مقدار بارش سالانه، در ناحیه کوهستانی با اقلیم سرد و مرطوب واقع شده‌اند. در حالی که ایستگاه‌هایی با کمترین مقدار شاخص انتخابی و میانگین بارش سالانه در ناحیه مرکزی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع هستند.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی همه شاخص‌ها نشان‌دهنده اهمیت بیشتر حداکثر شدت 60 دقیقه‌ای بارش در فرسایندگی باران‌های منطقه می‌باشد. به‌طورکلی، تمام شاخص‌هایی که به صورت ترکیبات مختلفی از حداکثر شدت 60 دقیقه‌ای با مقدار بارش بودند، بالاترین ضرایب همبستگی با میزان تلفات خاک را به خود اختصاص دادند. شاخص EI_{60} نیز از نظر میزان همبستگی با تلفات خاک، مقادیر بالایی را در میان شاخص‌های مورد بررسی از خود نشان داد. اگرچه ضرایب همبستگی EI_{60} با تلفات خاک، نسبت به ضریب همبستگی شاخص انتخابی، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح 5 درصد داشت ولی این تفاوت فاحش نبود. با تمام این اوصاف، با توجه به این که شاخص $\sqrt{P} \times I_{60}$ بیشترین همبستگی را با میزان تلفات خاک نشان داد، بنابراین با توجه به شرایط موجود و مورد مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک شاخص فرسایندگی مناسب در منطقه مورد مطالعه استفاده شود. بدیهی است که تعیین یک شاخص مناسب از توان فرسایندگی باران ضرورتی است که به کمک آن می‌توان در مورد فرسایندگی ناشی از باران شناخت صحیح‌تری پیدا نمود. همچنین، پیش‌بینی میزان تلفات خاک با دقت و صحت بیشتری صورت گرفته که این امر نیز به تصمیم‌گیری‌های درست در زمینه اجرای عملیات حفاظت خاک در مناطقی که با خطر بالای فرسایش مواجه هستند می‌انجامد. از سوی دیگر، با برقراری رابطه‌هایی بین شاخص فرسایندگی مناسب در منطقه و پارامترهای سهل‌الوصول بارش می‌توان شاخص فرسایندگی باران را در مناطق بدون باران‌نگار و آمار بلندمدت محاسبه نمود. این امر موجب صرفه‌جویی در هزینه و وقت نیز می‌شود.

با توجه به مسایل مطرح شده، امید است که در آینده، در مدل‌های فرسایش و رسوبی که به نوعی از شاخص فرساینده‌گی باران بهره‌مند هستند، از شاخص مناسب و معرف هر منطقه استفاده شود. همچنین، از طریق تولید نقشه‌های هم‌فرسا برای بخش‌های مختلف از اراضی، در خصوص شیوه اجرای عملیات حفاظت خاک قضاوت صحیح‌تری نمود. از سویی دیگر، انتظار می‌رود که با جمع‌آوری آمارهای بیش‌تر از چندین ایستگاه مجهز به باران‌نگار ثابت و کرت‌های جمع‌آوری رسوب در سطح استان، نسبت به محاسبه شاخص‌های فرساینده‌گی باران، انتخاب شاخص مناسب و اصلاح شاخص‌های انتخابی اقدام شود.

سپاسگزاری

در پایان از زحمات و همکاری کارشناسان محترم ایستگاه تحقیقات دام و مرتع جاشلوبار در استان سمنان و مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشک‌سالی در کشاورزی و منابع طبیعی، در تهیه آمار و اطلاعات لازم، سپاسگزاری می‌نمائیم.

منابع

1. Abu Hammad, A.H., Børresen, T., and Haugen, L.E. 2005. Effects of rain characteristics and terracing on runoff and erosion under the Mediterranean. *Soil and Till. Res.* 87: 39-47.
2. Alansi, A.W., Amin, M.S.M., Abdul Halim, G., Shafi, H.Z.M., Thamer, A.M., Waleed, A.R.M., Aimrun, W., and Ezrin, M.H. 2009. The effect of development and land use change on rainfall runoff and runoff-sediment relationships under humid tropical condition: Case study of Bernam Watershed Malaysia. *Euro. J. Sci. Res.* 31: 88-105.
3. Alipour, Z., Mahdian, M.H., Pazira, E., Hakimkhani, Sh., and Saeedi, M. 2010. 11th Iranian Soil Sciences Congress, Gorgan University, Gorgan, Pp: 1776-1777. (In Persian)
4. Alizadeh, A. 2009. Principles of applied hydrology. Imam Reza University Press, 870p. (In Persian)
5. Chmelova, R., and Sarapatka, B. 2002. Soil erosion by water: Contemporary research methods and their use. *Geographica.* 37: 23-30.
6. Diodato, N. 2005. Predicting RUSLE monthly Erosivity index from readily available rainfall data in Mediterranean area. *The Environmentalist*, 25: 63-70.
7. Ghorbanpour, D., Mirnia, M.Kh., Ahmadian, S.H., and Deghani, M. 2005. Evaluation of rainfall erosivity index using rainfall parameters in Babolsar region. 3th Conference of Erosion and Sediment, Soil Conservation and Watershed Management Researches Center, Tehran, Pp: 733-736. (In Persian)

8. Grauso, S., Fattoruso, G., Crocetti, C., and Montanari, A. 2007. A spatially distributed analysis of erosion susceptibility and sediment yield in a river basin by mean of geomorphic parameters and regression relationships. *Hydrol. Earth Sys. Sci.* 4: 627-654.
9. Hakimkhani, Sh., Mahdian, M.H., and Arab Khedri, M. 2008. Preparing the rainfall erosivity map for Namak Lake Basin. *Natural Resources of Iran*, 3: 713-736. (In Persian)
10. Hemmati, M. 2007. Investigating the appropriate rainfall erosivity index in Zanjan, Markazi and Kermanshah. PhD Thesis. Azad University of Sciences and Researches, Tehran, 150p. (In Persian)
11. Hussein, M.H., Award, M.N., and Abdul Jabbar, A.S. 1994. Predicting rainfall-runoff erosivity for single storms in northern Iraq. *Hydrol. Sci.* 39: 535-547.
12. Jayawardena, A.W., and Rezaur, R.B. 2000. Drop size distribution and kinetic energy load of rainstorms in Hong Kong. *Hydrol. Proc.* 4: 1069-1082.
13. Lal, R. 1976. Soil erosion on alfisols in western Nigeria, III, effects of rainfall characteristics. *Geoderma*. 16: 389- 401.
14. Marques, M.J., Bienes, R., Jimenes, L., and Rodriguey, R.R. 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. *Rainfall simulation over USLE plots. Sci. Total Environ.* 378: 1-2. 161-165.
15. Martinez, M.A., Vicente, M.L., Serrano, S.M.V., and Begueria, S. 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). *Hydrol and Earth Sys. Sci. Disc.* 6: 417-453.
16. Moradi, H., Behzadfar, M., and Sadeghi, H.R. 2006. Studying the relationships between rainfall factors and rainfall erosivity in Khoozestan. *J. Agri. Sci.* 4: 29. 69-83. (In Persian)
17. Munka, G., Cruz, G., and Caffera, R.M. 2008. Long-term variation in rainfall erosivity in Uruguay: A preliminary Fournier approach. *Geojournal.* 70: 257-262.
18. Nanko, K., Hotta, N., and Suzuki, M. 2004. Assessing raindrop impact energy at the forest floor in a nature Japanese cypress plantation using continuous raindrop-sizing instruments. *J. For. Res.* 9: 157-164.
19. Nyssen, J., Vandenreyken, H., Poessen, J., Deckers, J., Haile, M., Salles, C., and Govers, G. 2005. Rainfall erosivity and variability in the Northern Ethiopian Highlands. *J. Hydrol.* 311: 172-187.
20. Onchev, N.G. 1994. Universal index for calculating rainfall erosivity. P 424-431, In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C., and Lo, A. (eds.), *Soil erosion and conservation*, Soil Society of America, Ankeny.
21. Petkovsek, G., and Mikos, M. 2004. Estimating the R factor from daily rainfall data in the sub-Mediterranean Climate of southwest Slovenia. *J. Hydrol. Sci.* 49: 5. 869-877.
22. Salako, F.K. 2007. Rainfall variability and kinetic energy in southern Nigeria. *Clim. Change.* 86: 151-164.

23. Salles, C., Poesen, J., and Torres, D.S. 2002. Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity. *J. Hydrol.* 257: 256-270.
24. Shamshad, A., Azhari, M.N., Wan, W.M.A., and Parida, B.P. 2008. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of Erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular, Malaysia. *Catena.* 72: 3. 423-432.
25. Sharifah Mastura, S.A., Al-Thom, S., and Jaafar, O. 2003. Rain splash erosion: A case study in Tekala River Catchment, East Selangor, Malaysia. *Geografia.* 1: 4. 44-59.
26. Sharifan, H. 2008. Evaluation of equations erosivity index and parameters of rainfall in Gorgan. *J. Agr. Sci. Nat. Res.* 14: 5. 207-215. (In Persian)
27. Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena.* 57: 251-259.
28. Uson, A., and Ramos, M.C. 2001. An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate. *Catena.* 43: 293-305.
29. Van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A., and Rosewell, C.J. 2002. Rainfall intensity- kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *J. Hydrol.* 261: 1-23.
30. Xie, Y., Liu, B., and Nearing, M.A. 2002. Practical thresholds for separating erosive and non-erosive storm. *Am. Soc. Agr. Engin.* 45: 1843-1847.
31. Yoshihiro, N. 2003. Study on soil erosion and surface runoff in Hinoki (*Chamaecyparū obtusa*) plantations in Okayama prefecture. Relationships between monthly soil loss and rainfall factors. *App. For. Sci.* 12: 1. 47-52.
32. Yuksel, A., Gundogan, R., and akay, A.E. 2008. Using the remote sensing and GIS technology for erosion risk mapping of Kartalkaya dam watershed in Kahramanmaras, Turkey. *Sensors.* 8: 4851-4865.
33. Zhang, G.H., Nearing, M.A., and Liu, B.Y. 2010. Potential effects of climate change on rainfall Erosivity in the yellow river basin of China. *Am. Soc. Agr. Engin.* 48: 2. 511-517.
34. Zisheng, Y., Longfei, Y., and Bosheny, Z. 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. *J. Mount. Sci.* 7: 55-72.
35. Semnan Meteorology Organization Website. 2011 (www.semnanmet.ir).



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(5), 2013
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Determining the appropriate rainfall erosivity index by soil erosion plots in Semnan

***E. Mousavi Kiasari¹, D. Niknami², M.H. Mahdian² and E. Pazira³**

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, ²Associate Prof., Research Institute of Water Scarcity and Drought in Agriculture and Natural Resources, Tehran, Iran, ³Professor, Dept. of Soil Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran

Received: 01/09/2011; Accepted: 10/31/2012

Abstract

The rainfall erosivity factor is one of the important parameters for the correct prediction of soil loss amount by water. However, the used rainfall erosivity indices in any region must be accurate. The aim of this research was studying the regression relations between rainfall erosivity indices and related soil losses from experimental plots after individual rainfall event in order to investigate the appropriate rainfall erosivity index in Semnan province. For this reason, rainfall events were recorded from a recording raingauge at the Jashloobar Researches Station in Semnan province, from 2008 to 2010. Also, soil loss amounts after any rainfall events were collected and determined from 6 plots with standard dimensions in two slopes, 3 and 15 percentage and 3 replications. Then, daily rainfall amounts, maximum intensities in different base times, total kinetic energy and other rainfall parameters for calculation of different indices were calculated and relations between these indices and related sediment amounts were studied. With statistical analysis of mentioned relations, $\sqrt{P} \cdot (I_{60})^2$ index, showed strongest correlation, $r=0.651$ and significant at 0.001 level. Also, long-term average of selected index and seven rainfall amount-based indices at 10 stations with raingauge in Semnan province for periods of 1 to 25 years were calculated. The regression relationships between $\sqrt{P} \cdot (I_{60})^2$ and readily available indices were investigated. Mean annual rainfall, standard deviation of annual rainfall and maximum monthly rainfall, showed good correlations ($r=0.83, 0.82$ and 0.81 , respectively) at 0.001 level.

Keywords: Erosion, Rainfall erosivity, Experimental plot

* Corresponding Author; Email: emk_moussavi@yahoo.com