تعیین شاخص مناسب فرسایندگی باران در دو اقلیم نیمه‌خشک و خیلی مرطوب، حوزه آبخیز خزر

نازیلا خرسندی[۱*]، محمد حسین مهدیان[۲]، ابراهیم پذیرا[۱] و داود نیک‌کامی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۶)

چکیده

قدرت فرسایندگی باران به عنوان عامل اصلی ایجاد هدررفت خاک در قالب شاخص‌هایی پیشنهاد شده است. این پژوهش با هدف تعیین شاخص فرسایندگی مناسب در دو اقلیم خیلی‌مرطوب (الف) سرد سنگده در استان مازندران و نیمه‌خشک مراوه‌تپه در استان گلستان حوزه آبریز خزر و از طریق بررسی رابطه بین شاخص‌های فرسایندگی و مقادیر رسوب خروجی از کرت‌های فرسایشی انجام شد. در این رابطه، از مقادیر شدت در فواصل زمانی مختلف و مقدار بارش مربوط به ۱۲ واقعه بارندگی در مراوه‌تپه و ۱۱ واقعه در سنگده استفاده شد. تعداد ۲۵ شاخص فرسایندگی مختلف بر مبنای شدت و انرژی جنبشی باران محاسبه شدند. در همان فاصله زمانی و در هر دو اقلیم از داده‌های مقادیر رسوب خروجی کرت‌های آزمایشی در سه تکرار، پس از هر واقعه بارندگی استفاده شد. نتایج نشان داد که از بین شاخص‌های فرسایندگی باران مطالعه شده EI_{10} در سنگده و EI_{30} در مراوه‌تپه به‌ترتیب با ضرایب هم‌بستگی ۰/۸۰۳ و ۰/۷۲۷ در سطح اطمینان ۹۹ درصد بیشترین هم‌بستگی را با رسوب نشان می‌دهند. به‌طورکلی، در این شرایط اقلیمی غلبه شاخص گروه EI مرتبط با حاصل‌ضرب شدت حداکثر بارش در پایه‌های زمانی کوتاه ۱۰ و ۳۰ دقیقه در مقدار انرژی جنبشی رگبار نسبت به سایر شاخص‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، رسوب، حوزه آبریز دریای خزر، شاخص فرسایندگی باران، کرت

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار خاک‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
۲. دانشیار پژوهشی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران
۳. دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات کم آبی و خشک‌سالی کشاورزی و منابع طبیعی، تهران
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khorsandi.na@srbiau.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

فرسایش خاک به‌عنوان پدیده‌ای تهدیدکننده برای رشد جمعیت جهان شناخته شده و اغلب یکی از نتایج کاربری ناصحیح اراضی و عوامل اقلیمی می‌باشد (۹). در بین عوامل اقلیمی، باران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل فرساینده خاک مطرح است. برآورد فرسایش ناشی از باران به‌منظور پیش‌بینی دقیق فرسایش خاک و بهبود عملیات حفاظت خاک و آب سودمند است (۲۱). فرسایندگی باران عاملی مهم در ایجاد هدررفت خاک و تولید رسوب بوده (۱۱) و رخدادهایی از بارندگی که با شدت زیاد اتفاق می‌افتند، عامل اصلی ایجاد فرسایش و تولید رسوب می‌باشند (۱۰). نتایج مطالعات زای و همکاران (۲۹) در حوزه آبخیز رود زرد واقع در شمال چین با متوسط بارندگی ۴۰۰/۱ میلی‌متر نشان داد که ۱۲ میلی‌متر میزان کل بارندگی رگبار، ۲/۴ میلی‌متر در ساعت برای شدت متوسط رگبار و ۱۳/۳ میلی‌متر در ساعت برای حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای، حدود بحرانی فرسایندگی می‌باشند. این محققان دریافتند حد بحرانی میزان بارندگی در این تحقیق بسیار شبیه به ۱۲/۷ میلی‌متر به دست آمده توسط ویشمایر و اسمیت (۲۸) است.

شاخص‌هایی به‌منظور بیان قدرت فرسایندگی باران به‌عنوان تابعی از خصوصیات فیزیکی باران از قبیل انرژی جنبشی، شدت بارندگی و مقدار باران پیشنهاد شده است (۲۸). شاخص EI_{30} در ایالت متحده آمریکا عمومیت داشته و حاصل‌ضرب انرژی کل رگبار و حداکثر شدت ثبت شده در مدت زمان مشخص ۳۰ دقیقه است. درکل، شاخص EI به‌عنوان حاصل‌ضرب انرژی کل رگبار (E_n) در حداکثر شدت مطرح شده است که در فاصله زمانی مشخص اندازه‌گیری می‌شود (۱۸). اودوریکو و همکاران (۱۸) انتخاب شاخص فرسایندگی در سری‌های زمانی طولانی داده‌های بارندگی را در شرایط فقدان شدت‌های ۳۰ دقیقه‌ای یا کمتر مناسب دانستند. هادسون (۱۳) باران‌های با شدت بیش از ۲۵ میلی‌متر در ساعت را به‌عنوان عامل فرساینده در آفریقا پیشنهاد کرد و EI_{30} را با انرژی جنبشی باران‌های با شدت بیش از ۲۵ میلی‌متر در ساعت $(KE > 25)$ جایگزین نمود. لال (۱۵) با به کار بردن مدل USLE در نیجریه، جایگزین نمودن R با حاصل‌ضرب ارتفاع کل باران در حداکثر شدت ۷/۵ دقیقه‌ای را مطرح کرد. از جمله شاخص‌های دیگری که مورد توجه محققان واقع شده است، می‌توان به AI_{30}، AI_{30}^2 و $A\sqrt{I_{30}}$ اشاره نمود که متکی به روابط بین مقدار بارندگی (A) و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای (I_{30}) هستند (۵).

از سوی دیگر، مطالعات بسیاری هم‌بستگی قوی بین شاخص‌های فرسایندگی باران و رسوب تولیدی را تایید کرده‌اند. از آن‌جا که پارامترهای بارندگی بر سیستم رسوب‌گذاری حوزه آبخیز تأثیرگذارند، با افزایش میزان باران و شدت آن همراه با فراوانی تعداد رخدادهای بارندگی، افزایش فرسایش پاشمانی و تولید رسوب در حوزه مشاهده شده و انتقال رسوب تسهیل می‌یابد (۸، ۱۷ و ۲۴). اوسون و راموس (۲۷) شاخص مناسب منطقه مدیترانه را ترکیب یافته از انرژی جنبشی و حداکثر شدت در فواصل پنج دقیقه‌ای (KEI_5) دانستند. همتی و همکاران (۶) در راستای تعیین بهترین شاخص فرسایندگی باران از بین ۴۸ شاخص فرسایندگی باران، استفاده از آمار ۱۵ واقعه بارندگی در ایستگاه تحقیقاتی کبودعلیا- کرمانشاه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد، از بررسی هم‌بستگی آن شاخص‌ها با رسوب خروجی کرت بهره جستند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد EI_{60} که حاصل‌ضرب انرژی جنبشی (E) در حداکثر شدت ۶۰ دقیقه‌ای (I_{30}) است، بیشترین هم‌بستگی را با مقادیر رسوب نشان می‌دهد. نیک‌کامی و همکاران (۴) نیز برای تعیین بهترین شاخص ایستگاه پخش سیلاب سهرین- قره با اقلیم نیمه‌خشک که تحت کشت گندم دیم در سه طبقه شیب ۱۲-۰، ۲۰-۱۲ و ۴۰-۲۰ درصد بودند، رابطه بین شاخص‌های فرسایندگی ۱۷ واقعه بارندگی را با رسوب خروجی کرت‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات این محققان نشان داد که از بین شاخص‌های EI با حداکثر شدت در پایه‌های زمانی ۱، ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه و نیز شاخص Lal (۱۵)، بیشترین هم‌بستگی معنی‌دار در سطح ۹۰ تا ۹۹ درصد بین

www.SID.ir

متغیرهای میزان باران و حداکثر شدت در پایه‌های زمانی ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه وجود دارد.

گرچه مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که بین فاکتور EI_{30} مدل USLE و هدررفت خاک در بسیاری از مناطق دنیا بیشترین هم‌بستگی وجود دارد، ولی تغییرات شاخص فرسایندگی بستگی به منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه‌گیری دارد (۱۶). بنابراین، نمی‌توان نتایج یک منطقه و اقلیم را به منطقه و اقلیم دیگر تعمیم داد. لذا در این تحقیق، در دو اقلیم خیلی‌مرطوب و نیمه‌خشک (طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن) شاخص‌های فرسایندگی مبتنی بر شدت- انرژی جنبشی تعیین شد. سپس با هدف تعیین شاخص مناسب فرسایندگی باران برای دو اقلیم مورد نظر رابطه بین شاخص‌های فرسایندگی با رسوب خروجی کرت‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تحقیق مورد نظر در دو ایستگاه سنگده در استان مازندران و مراوه‌تپه در استان گلستان واقع در حوزه آبریز دریای‌خزر در شمال ایران انجام گرفت (شکل ۱). اقلیم ایستگاه‌های سنگده و مراوه‌تپه به‌ترتیب خیلی‌مرطوب (الف) سرد و نیمه‌خشک (بر اساس طبقه‌بندی دومارتن) هستند. این ایستگاه‌ها به‌دلیل داشتن دو اقلیم متفاوت و نیز دارا بودن ایستگاه‌های سینوپتیک به‌عنوان محل تحقیق انتخاب شدند. اقلیم نیمه‌خشک منطقه مراوه‌تپه در حوزه آبخیز اترک استان گلستان در محدوده طول جغرافیایی ″۳۴ ′۳۶ °۵۵ تا ″۴۱ ′۵۹ °۵۵ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱۶ ′۵۰ °۳۷ تا ″۰۱ ′۵۷ °۳۷ شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع منطقه ۴۰۰ متر از سطح دریا، دمای متوسط سالانه ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۳۵۵/۱ میلی‌متر می‌باشد. برخی خصوصیات فیزیکی خاک کرت‌های ایستگاه مراوه‌تپه در جدول ۱ آورده شده است. اقلیم خیلی‌مرطوب (الف) سرد منطقه سنگده در حوزه آبریز کسیلیان در استان مازندران بین عرض‌جغرافیایی ″۳۰ ′۵۸ °۳۵ تا ″۰۰ ′۰۷ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ″۳۰ ′۱۰ °۵۳ تا ″۰۰ ′۱۸ °۵۳ شرقی واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۳۷۰ متر از سطح دریا، متوسط بارندگی سالانه ۸۰۲/۵ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد است. برخی خصوصیات خاک ایستگاه مراوه‌تپه در جدول ۱ آورده شده است.

رسوب کرت‌ها

تحقیق مورد نظر در فاصله سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ در منطقه مراوه‌تپه (۲) و سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ در منطقه سنگده (۱) در کرت‌هایی به ابعاد ۲۲ متر در طول شیب و ۱/۸ متر در عرض با شیب ۹ درصد آغاز شد. در هر ایستگاه تعداد ۱۲ کرت‌ها به‌وسیله حصارهایی از ورقه‌های گالوانیزه سه میلی‌متری که به عمق ۱۵ سانتی‌متری در زمین فرورفته بود، احاطه شدند. در انتهای هر کرت مخازن ۲۲۰ لیتری جمع‌آوری رواناب- رسوب قرار گرفت. پس از هر واقعه بارندگی، رواناب و رسوب مخازن جمع‌آوری و رسوب تولیدی اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های فرسایندگی باران

از داده‌های بارندگی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ ایستگاه مراوه‌تپه و سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ ایستگاه سنگده استفاده شد. از ۲۰ واقعه بارندگی در ایستگاه مراوه‌تپه، هشت 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. ولی تمامی ۱۱ واقعه ایستگاه سنگده به‌دلیل فواصل زمانی مناسب در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر بارندگی در فواصل زمانی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه که از گراف‌های شدت- مدت بارانگارها توسط شرکت مدیریت منابع آب به دست آمده بود، به‌منظور محاسبه شاخص‌های فرسایندگی مبتنی بر شدت بارندگی استفاده شد.

محاسبه انرژی جنبشی باران با استفاده از معادله براون و

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱. شمایی از منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. خصوصیات خاک کرت‌های منطقه مورد مطالعه

ایستگاه‌ها	بافت	ماده آلی (٪)	آهک (٪)	pH
سنگده	سیلتی لوم	۱/۴	۴/۵	۶/۴
مراوه‌تپه	سیلتی لوم	۰/۵	۳/۳	۶/۹

فاستر (۷)، که در معادله RUSLE کاربرد داشته و در اکثر مقالات مورد استفاده قرار گرفته است، برای فواصل زمانی مشخص انجام شد:

$$E = \sum 0/29[1-0/72\exp(-0/05i)]\Delta V \qquad [1]$$

که در آن: i شدت بر حسب میلی‌متر در دقیقه در فواصل زمانی معین و ΔV ارتفاع باران بر حسب میلی‌متر برای فواصل مشخص رگبار است (۸). حاصل‌ضرب E به دست آمده از رابطه فوق در حداکثر شدت‌های I_{10}، I_{20}، I_{30}، I_{40}، I_{50}، I_{60}، I_{90} به‌ترتیب شاخص‌های EI_{10}، EI_{20}، EI_{30}، EI_{40}، EI_{50}، EI_{60}، EI_{90} را به دست می‌دهد. شاخص AI_m از حاصل‌ضرب مقدار کل باران بر حسب میلی‌متر در حداکثر شدت ۷/۵ دقیقه‌ای حاصل شد (Lal، ۱۹۷۷). شاخص $\sqrt{AT}$ از جذر حاصل‌ضرب مقدار کل بارش در مدت زمان بارش به دست آمد. شاخص‌های AI_{30}^2، AI_{30}، $A\sqrt{I_{30}}$ از دو پارامتر مقدار بارندگی (A) و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای (I_{30}) حاصل شدند. شاخص *Stanescu* تیپ I، II و III به‌ترتیب از حاصل‌ضرب حداکثر شدت بارش ۳۰، ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای در مجموع حاصل‌ضرب مقدار بارش در هر بازه زمانی (P_i) و شدت بارش مربوط به همان پایه زمانی (I_i) به دست آمدند. سه شاخص دیگر، شاخص مقدار بارش اتفاق افتاده به‌ترتیب به‌ازای حداکثر شدت ۳۰، ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای است ($P_{\max 30}$، $P_{\max 20}$ و $P_{\max 10}$). شاخص *Hudson*، *Morgan*، *Hudson* تیپ *I*، *Hudson* تیپ *II* و *Hudson* تیپ *III* به‌ترتیب انرژی جنبشی باران در شدت‌های بیش از ۱، ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۵ میلی‌متر در ساعت هستند. شاخص مربع مقدار کل انرژی جنبشی بارش است. شاخص‌های *Nearing* و *Roose* به‌ترتیب I^2 و $I^{1/5}$ می‌باشند. شاخص فرسایندگی $\frac{P}{S_t}$ مقدار بارندگی بیش از ۹/۵ میلی‌متر با شدت برابر یا بیش از ۱۰/۸ میلی‌متر در ساعت بر جذر مدت زمانی که این بارش اتفاق می‌افتد، می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$$

در نهایت رابطه هم‌بستگی بین شاخص‌های فرسایندگی مبتنی بر شدت بارندگی با رسوب خروجی کرت با استفاده از نرم‌افزار *SPSS* مورد بررسی قرار گرفت.

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج و بحث

الف) شاخص‌های فرسایندگی مبتنی بر شدت بارندگی

شاخص‌های فرسایندگی مختلف مبتنی بر ترکیبی از شدت، انرژی جنبشی، مقدار و زمان بارندگی با استفاده از ۱۱ رخداد بارندگی در ایستگاه سنگده و ۱۲ رخداد بارندگی در ایستگاه مراوه‌تپه محاسبه شد. مقادیر متوسط این شاخص‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، مقادیر شاخص‌های گروه *Stanescu* در هر دو ایستگاه بیشترین مقدار را در میان شاخص‌های دیگر نشان می‌دهند. از آن‌جاکه این شاخص مجموع حاصل‌ضرب انرژی جنبشی و شدت در بازه‌های زمانی کوتاه در حداکثر شدت در پایه‌های زمانی مورد نظر می‌باشد، بنابراین تأثیر این سه فاکتور منجر به افزایش مقدار آن نسبت به سایر شاخص‌ها شده است، درحالی‌که تأثیر هر سه این فاکتورها در شاخص‌های دیگر به‌صورت هم‌زمان مشاهده نمی‌شود. ازسوی‌دیگر، شاخص فرسایندگی $\frac{P}{S_t}$ در هر دو ایستگاه کمترین مقادیر را دارا می‌باشند. مقادیر این شاخص در هر دو ایستگاه برابر با صفر است که نشان می‌دهد در مدت زمان بررسی شده بارش‌هایی با مقدار بارندگی بیش از ۹/۵ میلی‌متر با شدت برابر یا بیش از ۱۰/۸ میلی‌متر در ساعت وجود نداشته است. از سوی دیگر، در مقایسه مقادیر شاخص‌های EI در پایه‌های زمانی مختلف مشاهده می‌شود که هر چه پایه زمانی بارندگی کمتر باشد، شاخص فرسایندگی مقدار بیشتری را به‌خود اختصاص می‌دهد، به‌طوری‌که، از EI_{10} به EI_{90} شاخص فرسایندگی باران بیشتر می‌شود.

هم‌چنین از آن‌جا که باران‌های با شدت زیاد در این مناطق بسیار کم اتفاق می‌افتند، از $KE > 1$ به $KE > 25$ مقدار شاخص فرسایندگی کمتر خواهد بود. تفاوت در شاخص‌های فرسایندگی دو ایستگاه اساسا به تفاوت در خصوصیات زمانی-مکانی بارندگی در دو منطقه مورد مطالعه، به‌خصوص تغییرات فصلی در شدت باران، مدت زمان بارش، میزان بارش و موقعیت خاص ایستگاه اندازه‌گیری باران مربوط می‌باشد (۲۱).

۳-۲- رابطه بین شاخص فرسایندگی باران و هدررفت خاک

رابطه بین شاخص‌های فرسایندگی مبتنی بر ترکیب‌های مختلف شدت بارش، انرژی جنبشی، مقدار بارش و مدت زمان با رسوب تولیدی کرت‌های واقع در ایستگاه‌های سنگده و مراوه‌تپه مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌های فرسایندگی باران با رسوب کرت‌ها در ایستگاه‌های مراوه‌تپه و سنگده در جدول ۳ آمده است.

نتایج به دست آمده در ایستگاه سنگده حاکی از آن است که هم‌بستگی معنی‌داری بین شاخص‌های AI_m، EI_{20}، EI_{30}، EI_{40}، EI_{50}، EI_{60}، EI_{90}، *StanescuI*، *StanescuII*، *StanescuIII*، $P_{\max 30}$، $P_{\max 20}$ با رسوب حاصله از کرت‌ها در سطح ۰/۰۵ وجود دارد، درصورتی‌که هم‌بستگی قوی و معنی‌دار بین EI_{10} با رسوب خروجی کرت‌ها در سطح ۰/۰۱ برقرار است. بررسی ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌های فرسایندگی باران مبتنی بر شدت بارندگی با رسوب در کرت‌های ایستگاه مراوه‌تپه نشان داد که شاخص‌های AI_m، AI_{30}، AI_{30}^2، EI_{10}، *StanescuI*، $P_{\max 30}$، $P_{\max 10}$ با رسوب هم‌بستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ را دارا می‌باشند. درحالی‌که، رابطه بین شاخص EI_{30} با رسوب ضمن این‌که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است، مقدار قدرمطلق ضریب هم‌بستگی آن نیز بیشتر است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، وجود رابطه معنی‌دار بین EI در حداکثر شدت بارش پایه‌های زمانی مختلف، تیپ‌های مختلف *Stanescu* و نیز مقدار بارش به‌ازای حداکثر شدت در پایه‌های زمانی مختلف با رسوب خروجی کرت‌ها اهمیت حداکثر شدت بارش و نیز مقدار باران به‌ازای حداکثر شدت رگبار را در شاخص فرسایندگی باران تأیید می‌کنند. از آن‌جا که نیاز به معرفی شاخص مناسب فرسایندگی باران براساس شدت بارندگی به‌منظور کاربرد آن در مدل‌های برآورد فرسایش حوزه‌های آبریز به خوبی ملموس است، بررسی معیارهایی برای تعیین مناسب‌ترین شاخص ضروری به‌نظر می‌رسد. از جمله این معیارها حداکثر ضریب هم‌بستگی

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. مقادیر متوسط شاخص‌های فرسایندگی باران در دو ایستگاه سنگده و مراوه‌تپه

ردیف	شاخص فرسایندگی	ایستگاه سنگده	ایستگاه مراوه‌تپه	ردیف	شاخص فرسایندگی	ایستگاه سنگده	ایستگاه مراوه‌تپه
۱	AI_m	۴۸۸/۹	۱۰۳/۵	۱۵	*StanescuIII*	۵۱۴۴/۷	۵۱۰۶/۶
۲	AI_{30}^2	۳۸۳۹/۴	۷۱۳/۸	۱۶	$KE>1$	۴/۶	۰/۸
۳	AI_{30}	۳۲۳/۵	۶۸/۱	۱۷	$KE>2.5$	۴/۱	۰/۷
۴	$A\sqrt{I_{30}}$	۹۶/۴	۱۹/۸	۱۸	$KE>5$	۳/۲	۰/۵
۵	$\sqrt{AT}$	۳/۳	۵۶/۱	۱۹	$KE>10$	۱/۸	۰/۵
۶	EI_{10}	۷۸/۷	۲۴	۲۰	$KE>25$	/۹	۰/۵
۷	EI_{20}	۶۱/۱	۱۳/۹	۲۱	KE^2	۰/۲	۰/۵
۸	EI_{30}	۵۱/۱	۱۶/۸	۲۲	$P_{\max 30}$	۴/۹	۳/۸
۹	EI_{40}	۴۷/۵	۷/۸	۲۳	$P_{\max 20}$	۴	۲/۴
۱۰	EI_{50}	۴۵/۲	۶/۶	۲۴	$P_{\max 10}$	۲/۴	۱/۸
۱۱	EI_{60}	۴۴/۲	۵/۷۵	۲۵	P/S_t	۰	۰
۱۲	EI_{90}	۳۶/۸	۴/۳۰	۲۶	*Roose*	۸/۳	۱/۵
۱۳	*StanescuI*	۳۳۳۰/۷	۸۹۹۹/۰	۲۷	*Nearing*	۱۸/۴	۲/۱
۱۴	*StanescuII*	۳۹۷۸/۹	۸۷۹۱/۳				

میان شاخص فرسایندگی باران و میزان رسوب تولیدی از کرت‌ها، معنی‌دار بودن سطح احتمال ضریب هم‌بستگی میان شاخص برتر و تلفات خاک، قابل دسترس بودن نسبت به سایر شاخص‌های فرسایندگی هستند. همان‌طور که اشاره شد، نتایج هم‌بستگی بین شاخص‌های فرسایندگی باران مطالعه شده در این تحقیق و رسوب کرت‌ها نشان داد که در اقلیم خیلی‌مرطوب EI_{10}، اما در اقلیم نیمه‌خشک EI_{30} به‌دلیل داشتن حداکثر مقدار ضریب هم‌بستگی با رسوب در سطح احتمال ۹۹ درصد شاخص کاربردی این دو اقلیم خواهند بود که در تخمین رسوب تولیدی کاربرد خواهند داشت. از لحاظ قابلیت دسترسی به این دو شاخص نیز تفاوت چندانی وجود ندارد. در این ارتباط همان‌طور که اشاره شد، تحقیقاتی در اقلیم‌های نیمه‌خشک ایران انجام گرفته است، که نتایج آنها مغایر با نتیجه به دست آمده از این تحقیق است. به‌طوری‌که همتی و همکاران (۵) در ایستگاه کبود علیا- کرمانشاه با اقلیم نیمه‌خشک سرد و نیک‌کامی و همکاران (۴) در ایستگاه سهرین- قره در استان زنجان دارای اقلیم نیمه‌خشک، شاخص EI_{60} را به عنوان شاخص مناسب معرفی نمودند. از آنجا که در این مناطق خصوصیات رژیم بارندگی متفاوتی حاکم است از طرف دیگر، اکثر مطالعاتی که در اقلیم‌های مشابه با اقلیم خیلی‌مرطوب ایستگاه سنگده انجام گرفته مناسب بودن شاخص EI_{30} را مطرح نموده‌اند، به‌طوری‌که، نتایج تحقیقات هویوس (۱۲) در اقلیم تروپیکال حوزه کوهستانی دوسکوبراداس کلمبیا با متوسط بارندگی ۲۶۰۰ تا ۳۲۰۰ میلی‌متر و در شش ایستگاه مورد

www.SID.ir

جدول ۳. ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌های فرسایندگی و رسوب در ایستگاه‌های سنگده و مراوه‌تپه

ردیف	شاخص فرسایندگی	رسوب ایستگاه		ردیف	شاخص	رسوب ایستگاه	
		سنگده	مراوه‌تپه		فرسایندگی	سنگده	مراوه‌تپه
۱	AI_m	۰/۶۹*	۰/۶۰*	۱۵	*StanescuIII*	۰/۷۳*	۰/۰۲
۲	$AI_{30}{}^2$	۰/۶۴	۰/۶۴*	۱۶	$KE>1$	۰/۵۴	۰/۲۰
۳	AI_{30}	۰/۶۵	۰/۶۵*	۱۷	$KE>2/5$	۰/۵۶	۰/۲۵
۴	$A\sqrt{I_{30}}$	۰/۵۸	۰/۴۷	۱۸	$KE>5$	۰/۵۰	۰/۳۰
۵	$\sqrt{AT}$	۰/۱۴	۰/۰۸	۱۹	$KE>10$	۰/۲۴	۰/۳۴
۶	EI_{10}	۰/۷۶**	۰/۷۰*	۲۰	$KE>25$	۰/۰۶	۰/۳۶
۷	EI_{20}	۰/۶۹*	۰/۴۸	۲۱	KE^2	۰/۱۳	۰/۴۶
۸	EI_{30}	۰/۷۰*	۰/۸۰**	۲۲	$P_{\max 30}$	۰/۷۰*	۰/۶۵*
۹	EI_{40}	۰/۷۳*	۰/۴۷	۲۳	$P_{\max 20}$	۰/۷۲*	۰/۵۰
۱۰	EI_{50}	۰/۷۱*	۰/۴۶	۲۴	$P_{\max 10}$	۰/۵۴	۰/۶۴*
۱۱	EI_{60}	۰/۷۱*	۰/۴۵	۲۵	P/S_t	۰	۰
۱۲	EI_{90}	۰/۷۱*	۰/۳۸	۲۶	*Roose*	۰/۴۱	۰/۰۳
۱۳	*StanescuI*	۰/۷۱*	۰/۶۹*	۲۷	*Nearing*	۰/۳۵	۰/۰۳
۱۴	*StanescuII*	۰/۶۹*	۰/۵۷				

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند.

بررسی نشان داد که EI_{30} بیشترین هم‌بستگی را با تلفات خاک نشان می‌دهد.

در اقلیم معتدل نیز کریجا (۱۴) به‌منظور تعیین بهترین شاخص فرسایندگی باران در منطقه یواسین کنیا با استفاده از کرت‌های رواناب- رسوب نشان داد که شاخص EI_{30} با ضریب ۰/۸۸ بیشترین هم‌بستگی را با رسوب خروجی کرت داشته است. ازاین‌رو، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص در مقایسه با شاخص‌های مقدار بارندگی (A)، رواناب رگبار (Q) و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای (I_{30}) به‌ترتیب با ضرایب هم‌بستگی ۰/۷۱، ۰/۷۳ و ۰/۷۰ معرفی شد. در اقلیم مشابه در جنوب غربی کلمبیا راپنتال و همکاران (۱۶) نشان دادند که بین EI_{30} و رسوب خروجی کرت‌های مورد بررسی هم‌بستگی قوی و معنی‌داری وجود دارد.

گرچه اکثر مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که بین فاکتور R در USLE و هدررفت خاک در بسیاری از اقلیم‌های خیلی مرطوب بیشترین هم‌بستگی وجود دارد، اما تغییرات شاخص فرسایندگی 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. هرچند نتایج نسبتاً مشابهی در ارتباط با اقلیم خیلی‌مرطوب به دست آمده است. در

Archive of SID

www.SID.ir

این ارتباط می‌توان به تحقیق انجام شده توسط اسون و راموس (۲۷) در بررسی رابطه بین هدررفت خاک با ترکیبات مختلف انرژی جنبشی و حداکثر شدت در فواصل زمانی متفاوت (I_{30}، I_{15} و I_5) اقلیم مدیترانه‌ای اشاره کرد. نتایج مطالعه این محققان نشان داد که بهترین هم‌بستگی بین هدررفت خاک با حاصل‌ضرب انرژی جنبشی اسمپرتورز و حداکثر شدت پنج دقیقه‌ای (I_5) وجود دارد که ۸۰ درصد از تغییرات را توضیح می‌دهد. این محققان پیشنهاد کردند که در اقلیم مدیترانه‌ای لازم است تا پایه‌های زمانی کوتاه‌تری درخصوص اندازه‌گیری انرژی جنبشی رگبارها لحاظ شود.

در کل، هر دو شاخص EI_{10} و EI_{30} بر پایه حداکثر شدت در پایه زمانی نسبتاً کوتاه و نیز انرژی جنبشی حاصل شده‌اند، که این امر اهمیت این پارامترها را در بیان شاخص فرسایندگی مناسب دو اقلیم نیمه‌خشک و خیلی‌مرطوب نشان می‌دهد.

در نهایت، پیشنهاد می‌شود به‌منظور کاهش خطاهای احتمالی تعداد بیشتری از کرت‌ها استفاده شود و نیز دوره آماربرداری طولانی‌تری از وقایع بارش و به تبع آن رواناب و رسوب متناظرشان مطالعه گردد. این امر تأثیر دوره‌های خشک-سالی و یا ترسالی را از بین می‌برد، زیرا اگر یک دوره خشک-سالی و یا دوره ترسالی اتفاق افتاده باشد، خطاهای آماری بیشتر خواهند بود. هم‌چنین، توصیه می‌شود اقلیم‌های مشابه در مناطق مختلف به‌منظور بررسی اثر اقلیم مورد مطالعه قرار گیرند تا نتایج مطمئن‌تری حاصل شود.

سپاسگزاری

در اینجا لازم می‌دانم از همکاری سازمان مدیریت منابع آب کشور، سازمان هواشناسی کشور و مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری استان‌های گلستان و مازندران که در جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، این پروژه را یاری رساندند قدردانی شود.

منابع مورد استفاده

۱. احمدیان، ح. ۱۳۸۳. اندازه‌گیری فرسایش خاک به صورت پلات در عرصه‌های زراعی، مرتعی، دیم رها شده و جنگل حوزه معرف کسیلیان. گزارش طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

۲. اعتراف، ح. ۱۳۸۵. بررسی اثرات چرا در تولید رسوب و رواناب در اراضی لسی مراوه‌تپه. گزارش طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

۳. مهدوی، م. ۱۳۷۷. *هیدرولوژی کاربردی*. جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

۴. نیک‌کامی، د.، پ. رزم‌جو و ف. بیات موحد. ۱۳۸۵. بررسی و معرفی چند شاخص جدید فرسایندگی باران. نشر آب و آبخیز، ۲ (۱): ۵۲-۶۲.

۵. همتی، م. ۱۳۸۶. تعیین بهترین شاخص فرسایندگی باران در سه منطقه جغرافیایی ایران. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۶. همتی، م.، ح. احمدی، د. نیک‌کامی، غ. ر. زهتابیان و م. جعفری. ۱۳۸۶. تعیین بهترین شاخص فرسایندگی باران در اقلیم نیمه‌خشک سرد ایران (مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کبود علیا- کرمانشاه). چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوزه‌های آبخیز، اسفند ماه، دانشکده منابع طبیعی- دانشگاه تهران.

7. Brown, L.C. and G.R. Foster. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. ASAE. 30:379-386.
8. Capolongo, D., N. Diodato, C.M. Mannaerts, M. Piccarreta and R.O. Strobl. 2008. Analysing temporal changes in

www.SID.ir

climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (Southern Italy). J. Hydrol. 5:35-39.
9. Gobin, A., R. Jones, M. Kirkby, P. Capling, G. Govers, C. Kosmas and A.R. Gentile. 2004. Indicators for Pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water. Environ. Sci. Policy 7:25-38.
10. Gonza′lez-Hidalgo, J.C., J.L. Pena-Monne and M. de Luis. 2007. A review of daily soil erosion in western Mediterranean areas. Catena 71:193-199.
11. Hasting, B.K., D.D. Breshears and F.M. Smith. 2005. Spatial variability in rainfall erosivity versus rainfall depth: Implications for sediment yield. Vadose Zone J. 4:500-504.
12. Hoyos N., P.R. Waylen and A. Jaramillo. 2005. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. J. Hydrol. 314 (1-4): 177-191.
13. Hudson, N. W. 1981. Soil Conservation. Cornell University Press, USA.
14. Kariaga, B.M. 2002. Rainfall erosivity factor for uasin Gishu Plateau. Kenya Discovery and Innovation 14(1-2):57-62.
15. Lal, R. 1977. Analyses of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility. *In*: Greenland, D. J. and Lal, R. (Eds.), Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. Wiley, Chichester, West Sussex, U.K.
16. Men, M., Z. Yu and H. Xu. 2008. Study on the spatial patter of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei province, Cina. Front. Agric. China 2 (3):281-289.
17. Michael, A., J. Schmidt, W. Enk, T.H. Deutschlander and G. Malitz. 2005. Impact of expected increase in precipitation on soil loss-result of comparative model simulations. Catena 61:155-164.
18. Odorico, P.D., J. Yoo and T.M. Over. 2001. An assessment of ENSO- Induced patterns of rainfall erosivity in Southwestern united states. J. Climate 14: 4230-4242.
19. Pal, I. and A. Al-Tabbaa. 2009. Suitability of different erosivity models used in RUSLE2 for the South West Indian region. Environmentalist 29(4):403-410.
20. Ramprasad, B.K., B.P. Kothyari and R.K. Pande. 2000. Evaluation of rainfall erosivity in Bheta Gad catchment, Kumaun Hills of Uttar Pradesh, central Himalayas. Environmentalist 20:301-308.
21. Renschler, C.S., C. Mannaerts and B. Diekkruger. 1999. Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk- rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain. Catena. 34:209-225.
22. Romero, C.C., G.A. Baigorria and L. Stroosnijder. 2007. Changes of erosive rainfall for EI Nino and La Nina years in the northern Andean highlands of Peru. Climatic Change 83:343-356.
23. Ruppenthal, M., D. E. Leihner, T. H. Hilger and J. A F. Castillo. 1996. Rainfall erosivity and erodibility of inceptisols in the Southwest Colombian Andes. Experim. Agric. 32:91-101.
24. Salvador Sanchis, M.P., D. Torro, L. Borselli and J. Poesen. 2008. Climate affects on soil erodibility. Earth Surface Proc. and Landforms 33:1082-1097.
25. Stocking, M.A. and H.A. Elwell. 1976. Rainfall erosivity over Rhodesia. Trans. of Institute of British Geographers. N Ser 1(2): 231-245.
26. Ulsaker, L.G. and C.A. Onstad. 1984. Relating rainfall erisivity factors to soil loss in Kenya. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48:891-896.
27. Uson, A. and M.C. Ramus. 2001. An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with mediterranean climate. Catena 43:293-305.
28. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA Handbook. 537, Washington, D. C.
29. Xie, Y., B. Liu and M.A. Nearing. 2002. Practical thresholds for separating erosive and non- erosive storms. Trans. ASAE 45 (6):1843-1847.

Archive of SID

www.SID.ir