

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

نازیلا خرسندی<sup>۱\*</sup>، محمد حسین مهدیان<sup>۲</sup>، ابراهیم پذیرا<sup>۱</sup> و داود نیک‌کامی<sup>۳</sup>

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

### چکیده

قدرت فرساینده‌گی باران به عنوان عامل اصلی ایجاد هدررفت خاک در قالب شاخص‌هایی پیشنهاد شده است. این پژوهش با هدف تعیین شاخص فرساینده‌گی مناسب در دو اقلیم خیلی مرطوب (الف) سرد سنگده در استان مازندران و نیمه‌خشک مراوه‌تپه در استان گلستان حوزه آبریز خزر و از طریق بررسی رابطه بین شاخص‌های فرساینده‌گی 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 فرساینده‌گی 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 فرساینده‌گی باران مطالعه شده  $EI_{10}$  در سنگده و  $EI_{30}$  در مراوه‌تپه به ترتیب با ضرایب هم‌بستگی  $0.803$  و  $0.727$  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 فرساینده‌گی 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 کم‌آبی و خشک‌سالی کشاورزی و منابع طبیعی، تهران

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khorsandi.na@srbiau.ac.ir

## مقدمه

فرسایش خاک به عنوان 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 به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل فرساینده خاک مطرح است. برآورد فرسایش ناشی از باران به منظور پیش‌بینی دقیق فرسایش خاک و بهبود عملیات حفاظت خاک و آب سودمند است (۲۱). فرساینده‌ی 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 فرساینده‌ی 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 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 (۲۸). شاخص  $EI_{30}$  در ایالت متحده آمریکا عمومیت داشته و حاصل ضرب انرژی کل رگبار و حداکثر شدت ثبت شده در مدت زمان مشخص ۳۰ دقیقه است. در کل، شاخص  $EI$  به عنوان حاصل ضرب 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 فرساینده‌ی 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 به عنوان 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 حاصل ضرب 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 فرساینده‌ی 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 فرساینده‌ی باران از بین ۴۸ شاخص فرساینده‌ی 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 حاصل ضرب 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 ۰-۱۲، ۱۲-۲۰ و ۲۰-۴۰ درصد بودند، رابطه بین شاخص‌های فرساینده‌ی 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

در استان مازندران بین عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 58' 30''$  تا  $36^{\circ} 07' 18''$  شمالی و طول جغرافیایی  $53^{\circ} 10' 30''$  تا  $53^{\circ} 53' 00''$  شرقی واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه  $1370$  متر از سطح دریا، متوسط بارندگی سالانه  $802/5$  میلی‌متر و دمای متوسط سالانه  $17/6$  درجه سانتی‌گراد است. برخی خصوصیات خاک ایستگاه مراوه‌تپه در جدول ۱ آورده شده است.

#### رسوب کرت‌ها

تحقیق مورد نظر در فاصله سال‌های  $1379$  تا  $1381$  در منطقه مراوه‌تپه (۲) و سال‌های  $1377$  تا  $1381$  در منطقه سنگده (۱) در کرت‌هایی به ابعاد  $22$  متر در طول شیب و  $1/8$  متر در عرض با شیب  $9$  درصد آغاز شد. در هر ایستگاه تعداد  $12$  کرت‌ها به وسیله حصارهایی از ورقه‌های گالوانیزه سه میلی‌متری که به عمق  $15$  سانتی‌متری در زمین فرورفته بود، احاطه شدند. در انتهای هر کرت مخازن  $220$  لیتری جمع‌آوری رواناب- رسوب قرار گرفت. پس از هر واقعه بارندگی، رواناب و رسوب مخازن جمع‌آوری و رسوب تولیدی اندازه‌گیری شد.

#### شاخص‌های فرساینده‌گی باران

از داده‌های بارندگی سال‌های  $1379$  تا  $1381$  ایستگاه مراوه‌تپه و سال‌های  $1377$  تا  $1381$  ایستگاه سنگده استفاده شد. از  $20$  واقعه بارندگی در ایستگاه مراوه‌تپه، هشت واقعه در روزهای متوالی و یا با فواصل کمتر از یک هفته حادث شده بودند که به منظور حذف اثر رطوبت قبلی خاک بر رسوب حاصل از این وقایع در تجزیه و تحلیل داده‌ها وارد نشدند. ولی تمامی  $11$  واقعه ایستگاه سنگده به دلیل فواصل زمانی مناسب در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر بارندگی در فواصل زمانی  $10$ ،  $20$ ،  $30$ ،  $40$ ،  $50$ ،  $60$  و  $90$  دقیقه که از گراف‌های شدت-مدت باران‌نگارها توسط شرکت مدیریت منابع آب به دست آمده بود، به منظور محاسبه شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر شدت بارندگی استفاده شد.

محاسبه انرژی جنبشی باران با استفاده از معادله براون و

متغیرهای میزان باران و حداکثر شدت در پایه‌های زمانی  $60$  و  $120$  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 فرساینده‌گی 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 خیلی مرطوب و نیمه‌خشک (طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن) شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر شدت-انرژی جنبشی تعیین شد. سپس با هدف تعیین شاخص مناسب فرساینده‌گی باران برای دو اقلیم مورد نظر رابطه بین شاخص‌های فرساینده‌گی 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 دریای خزر در شمال ایران انجام گرفت (شکل ۱). اقلیم ایستگاه‌های سنگده و مراوه‌تپه به ترتیب خیلی مرطوب (الف) سرد و نیمه‌خشک (بر اساس طبقه‌بندی دومارتن) هستند. این ایستگاه‌ها به دلیل داشتن دو اقلیم متفاوت و نیز دارا بودن ایستگاه‌های سینوپتیک به عنوان محل تحقیق انتخاب شدند. اقلیم نیمه‌خشک منطقه مراوه‌تپه در حوزه آبخیز اترک استان گلستان در محدوده طول جغرافیایی  $34^{\circ} 36' 55''$  تا  $41^{\circ} 59' 55''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $37^{\circ} 16' 50''$  تا  $37^{\circ} 57' 01''$  شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع منطقه  $400$  متر از سطح دریا، دمای متوسط سالانه  $17/7$  درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه  $355/1$  میلی‌متر می‌باشد. برخی خصوصیات فیزیکی خاک کرت‌های ایستگاه مراوه‌تپه در جدول ۱ آورده شده است. اقلیم خیلی مرطوب (الف) سرد منطقه سنگده در حوزه آبریز کسلیان



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

مجموع حاصل ضرب 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 به ترتیب به ازای حداکثر شدت ۳۰، ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای است ( $P_{max30}$ ،  $P_{max20}$  و  $P_{max10}$ ). شاخص *Hudson Morgan Hudson* تپ *I* *Hudson* تپ *II* و *Hudson* تپ *III* به ترتیب انرژی جنبشی باران در شدت‌های بیش از ۱، ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۵ میلی‌متر در ساعت هستند.  $\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$  شاخص مربع مقدار کل انرژی جنبشی بارش است. شاخص‌های *Nearing* و *Roose* به ترتیب  $I^2$  و  $I^{1/5}$  می‌باشند. شاخص فرسایندهی 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.

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

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

$$E = \sum 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.05i)] \Delta V \quad [1]$$

که در آن:  $i$  شدت بر حسب میلی‌متر در دقیقه در فواصل زمانی معین و  $\Delta V$  ارتفاع باران بر حسب میلی‌متر برای فواصل مشخص رگبار است (۸). حاصل ضرب  $E$  به دست آمده از رابطه فوق در حداکثر شدت‌های  $I_{10}$ ،  $I_{20}$ ،  $I_{30}$ ،  $I_{40}$ ،  $I_{50}$ ،  $I_{60}$ ،  $I_{90}$  به ترتیب شاخص‌های  $EI_{10}$ ،  $EI_{20}$ ،  $EI_{30}$ ،  $EI_{40}$ ،  $EI_{50}$ ،  $EI_{60}$ ،  $EI_{90}$  را به دست می‌دهد. شاخص  $AI_m$  از حاصل ضرب مقدار کل باران بر حسب میلی‌متر در حداکثر شدت ۷/۵ دقیقه‌ای حاصل شد (Lal, ۱۹۷۷). شاخص  $\sqrt{AT}$  از جذر حاصل ضرب 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* تپ *I*، *II* و *III* به ترتیب از حاصل ضرب حداکثر شدت بارش ۳۰، ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای در

## نتایج و بحث

## الف) شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر شدت بارندگی

شاخص‌های فرساینده‌گی 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 حاصل ضرب 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 به صورت هم‌زمان مشاهده نمی‌شود. از سوی دیگر، شاخص فرساینده‌گی  $\frac{P}{S_f}$  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 فرساینده‌گی مقدار بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد، به طوری‌که، از  $EI_{10}$  به  $EI_{90}$  شاخص فرساینده‌گی 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 فرساینده‌گی کمتر خواهد بود. تفاوت در شاخص‌های فرساینده‌گی دو ایستگاه اساساً به تفاوت در خصوصیات زمانی- مکانی بارندگی در دو منطقه مورد مطالعه، به خصوص تغییرات فصلی در شدت باران، مدت زمان بارش، میزان بارش و موقعیت خاص ایستگاه اندازه‌گیری باران مربوط می‌باشد (۲۱).

## ۳-۲- رابطه بین شاخص فرساینده‌گی باران و هدررفت خاک

رابطه بین شاخص‌های فرساینده‌گی 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 فرساینده‌گی 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  $EI_{30}$ ،  $EI_{20}$ ،  $AI_m$ ،  $EI_{40}$ ،  $EI_{50}$ ،  $EI_{60}$ ،  $EI_{90}$ ،  $Stanescul$ ،  $Stanescull$ ،  $Stanesculll$ ،  $P_{max20}$ ،  $P_{max30}$  با رسوب حاصله از کرت‌ها در سطح ۰/۰۵ وجود دارد، در صورتی‌که هم‌بستگی قوی و معنی‌دار بین  $EI_{10}$  با رسوب خروجی کرت‌ها در سطح ۰/۰۱ برقرار است. بررسی ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌های فرساینده‌گی باران مبتنی بر شدت بارندگی با رسوب در کرت‌های ایستگاه مراوه‌تپه نشان داد که شاخص‌های  $AI_m$ ،  $AI_{30}$ ،  $AI_{30}^2$ ،  $EI_{10}$ ،  $Stanescul$ ،  $P_{max30}$ ،  $P_{max10}$  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 فرساینده‌گی باران تأیید می‌کنند. از آن‌جا که نیاز به معرفی شاخص مناسب فرساینده‌گی باران براساس شدت بارندگی به‌منظور کاربرد آن در مدل‌های برآورد فرسایش حوزه‌های آبریز به خوبی ملموس است، بررسی معیارهایی برای تعیین مناسب‌ترین شاخص ضروری به نظر می‌رسد. از جمله این معیارها حداکثر ضریب هم‌بستگی

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

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

نیمه‌خشک ایران انجام گرفته است، که نتایج آنها مغایر با نتیجه به دست آمده از این تحقیق است. به طوری که 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 خیلی مرطوب ایستگاه سنگده انجام گرفته مناسب بودن شاخص  $EI_{30}$  را مطرح نموده‌اند، به طوری که، نتایج تحقیقات هویوس (۱۲) در اقلیم تروپیکال حوزه کوهستانی دوسکوبراداس کلمبیا با متوسط بارندگی ۲۶۰۰ تا ۳۲۰۰ میلی‌متر و در شش ایستگاه مورد

میان شاخص فرساینده‌گی 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 فرساینده‌گی هستند. همان‌طور که اشاره شد، نتایج هم‌بستگی بین شاخص‌های فرساینده‌گی باران مطالعه شده در این تحقیق و رسوب کرت‌ها نشان داد که در اقلیم خیلی مرطوب  $EI_{10}$ ، اما در اقلیم نیمه‌خشک  $EI_{30}$  به دلیل 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

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

ردیف	شاخص فرساینده‌گی	رسوب ایستگاه		ردیف	شاخص فرساینده‌گی	رسوب ایستگاه	
		سنگده	مراوه‌تپه			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	$P_{max30}$	۰/۷۰*	۰/۶۵*
۹	$EI_{40}$	۰/۷۳*	۰/۴۷	۲۳	$P_{max20}$	۰/۷۲*	۰/۵۰
۱۰	$EI_{50}$	۰/۷۱*	۰/۴۶	۲۴	$P_{max10}$	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 \*\*: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند.

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 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. هرچند نتایج نسبتاً مشابهی در ارتباط با اقلیم خیلی مرطوب به دست آمده است. در

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

در اقلیم معتدل نیز کریجا (۱۴) به منظور تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی 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. از این رو، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص در مقایسه با شاخص‌های مقدار بارندگی ( $A$ )، رواناب رگبار ( $Q$ ) و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای ( $I_{30}$ ) به ترتیب با ضرایب هم‌بستگی ۰/۷۱، ۰/۷۳ و ۰/۷۰ معرفی شد. در اقلیم مشابه در جنوب غربی کلمبیا راپیتال و همکاران (۱۶) نشان دادند که بین  $EI_{30}$  و

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 به منظور 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.

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 در خصوص 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 فرساینده‌گی مناسب دو اقلیم نیمه‌خشک و خیلی مرطوب نشان می‌دهد.

در نهایت، پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش خطاهای احتمالی تعداد بیشتری از کرت‌ها استفاده شود و نیز دوره

### منابع مورد استفاده

۱. احمدیان، ح. ۱۳۸۳. اندازه‌گیری فرسایش خاک به صورت پلات در عرصه‌های زراعی، مرتعی، دیم رها شده و جنگل حوزة معرف کسلیان. 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 فرساینده‌گی باران. نشر آب و آبخیز، ۲ (۱): ۵۲-۶۲.
۵. همتی، م. ۱۳۸۶. تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی 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 فرساینده‌گی باران در اقلیم نیمه‌خشک سرد ایران (مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک کیود 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



- 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. González-Hidalgo, J.C., J.L. Peña-Monno 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 patten 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. Kothiyari 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 El 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.