



بررسی شاخص فرساینده‌گی باران استان آذربایجان غربی برای تهیه نقشه هم‌فرسای بارندگی

رضا سکوتی اسکوتی^۱، داود نیک‌کامی^۲ و ابراهیم بروشکه^۳

۱- دانشیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. (نویسنده مسوول: rezasokouti@gmail.com)
۲- استاد، پژوهشکده آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۳- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۲۲

چکیده

فرساینده‌گی باران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر فرسایش خاک مطرح است که در قالب شاخص‌هایی بیان می‌شود. این پژوهش با هدف تعیین شاخص فرساینده‌گی مناسب در رابطه با تلفات خاک در کرت‌های استاندارد ایستگاه آبخیزداری پلدشت آذربایجان غربی انجام شد. پس از ثبت مقادیر بارندگی در دوره‌های زمانی معین، شاخص‌های مختلف بارندگی محاسبه و مناسب‌ترین آن برای منطقه انتخاب شد. شاخص انتخابی از طریق شاخص‌های در دسترس بارندگی نظیر فورنیه اصلاح شده، بارندگی متوسط سالانه و حداکثر بارندگی روزانه در ایستگاه‌های فاقد آمار شدت باران استان محاسبه و بهترین روش برآورد شاخص بارندگی بدست آمد. برای تهیه نقشه شاخص هم‌فرسای بارندگی از روش‌های میان‌یابی مبتنی بر زمین آمار از طریق ارزیابی مقاطع استفاده شد. نتایج نشان داد EI_{30} مناسب‌ترین شاخص فرساینده‌گی باران می‌باشد که با شاخص فورنیه اصلاح شده در سطح ۹۵ درصد اطمینان، همبستگی دارد. براساس رابطه بدست آمده شاخص فرساینده‌گی باران برای ۱۷ ایستگاه باران‌سنجی استان برآورد شد. مقایسه روش‌های زمین آماری نشان داد با وجود آن که مقدار خطای روش کوکریجینگ نسبت به روش‌های عکس فاصله وزن دار، کریجینگ، اسپیلین به میزان $۱۰/۵۷$ ، $۰/۷۱$ و $۴/۶$ و $۰/۶۷$ درصد کاهش دارد. ولی به دلیل عدم وجود ایستایی در داده‌های EI_{30} ، روش اسپیلین برای میان‌یابی تغییرات مکانی شاخص فرساینده‌گی باران نسبت به سایر روش‌های میان‌یابی مورد بررسی مناسب‌تر است. همچنین مقادیر سالانه این شاخص در استان بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگا ژول بر میلی‌متر بر هکتار در ساعت بدست آمد. نقشه هم‌فرسای تهیه شده حاکی از وجود روند کاهشی شاخص فرساینده‌گی باران از غرب به شرق استان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، شاخص فرساینده‌گی باران، کرت‌های فرسایش. استان آذربایجان غربی

مقدمه

پیشنهاد نمود. در ادامه این تحقیقات دیوداتو (۳) در تحقیقی در ایتالیا مقادیر شاخص فرساینده‌گی باران EI_{30} را برآورد نموده و پس از تعیین رابطه بین این ضریب و پارامترهای بارندگی، معادلاتی را از این داده‌ها استخراج کرد. سالس و پوسن (۱۷) با ذکر این که استفاده از یک خصوصیت به‌عنوان شاخص فرساینده‌گی قادر به برآورد دقیق‌تر قدرت فرساینده‌گی باران نیست توصیه نمود از شاخص‌های مرکبی بهره جویی شود که حداقل از دو خصوصیت بارندگی تشکیل شده است. اوسون و راموس (۲۳) با تحقیقات بیشتر، رابطه بهتری بین تلفات خاک با حاصل‌ضرب انرژی جنبشی در حداکثر بارندگی ۵ دقیقه‌ای (EI_5) نسبت به EI_{30} بدست آوردند. نتایج تحقیق مینگ هسی لیو و هوآن سوآن (۲۰) حاکی از ارتباط مثبت بارندگی سالانه و شاخص فرساینده‌گی سالانه است که از این طریق می‌توان برآوردهایی از این شاخص بدست آورد. محققین زیادی مانند بین و همکاران (۳۴)، مین و همکاران (۱۸)، باسکان و همکاران (۲)، سیلوا و همکاران (۲۸)، مارتینز و همکاران (۱۶) تکنیک‌های درون‌یابی فضایی مانند "فاصله معکوس وزنی"، "کریجینگ" را برای تهیه نقشه‌های توزیع فضایی شاخص R مورد استفاده قرار داده‌اند. در ایران نیز نیک‌کامی و همکاران (۱۴) بالاترین همبستگی در سطوح ۹۹ تا ۹۵ درصد اطمینان را بین مقادیر رواناب و رسوب با دو

فرسایش خاک یک مشکل مهم اجتماعی و اقتصادی و یک عامل ضروری در ارزیابی سلامتی و کارکرد اکوسیستم است. این پدیده فرآیندی تدریجی است که هنگام برخورد عامل فرسایش‌دهنده، مانند آب یا باد، به سطح خاک اتفاق افتاده و باعث جدا شدن و حرکت ذرات خاک و نهایتاً تخریب آن می‌شود (۵،۱). انرژی فرساینده رگبارها اولین عامل کنش خاک و یک فاکتور تعیین‌کننده در انتقال رسوب به آب‌های سطحی است (داویدسون و همکاران، (۲). EI_{30} شاخص فرساینده‌گی بسیار معروفی است که در گروه شاخص‌های مرکب قرار می‌گیرد و همبستگی بالایی را با تلفات خاک نشان داده است (ویشمایر و اسمیت، سال) (۲۱). از طرف دیگر هودسون (۸) ضمن مطالعه بر روی شاخص بارندگی برای باران‌های تروپیکال یا گرمسیری جنوب آفریقا در زیمبابوه همبستگی بهتری را بین $KE > 1$ و میزان فرسایش خاک نسبت به شاخص EI_{30} بدست آورد. لال (۹) نیز با بررسی رابطه داده‌های بارندگی و تلفات خاک در نیجریه مشاهده کرد که تلفات خاک در شدت‌های بالای بارندگی در مناطق گرمسیری همبستگی بیشتری با شاخص AI_m نسبت به شاخص‌های EI_{30} و $KE > 1$ دارد. اونچف (۱۶) هم برای اقالیم کشورهای شرق اروپا شاخص جهانی P / \sqrt{t} را

تحقیق با بررسی شاخص های فرساینده باران نظیر EI_{30} ویشمایر و اسمیت (۲۱)، P/\sqrt{t} اونچف (۱۶)، $KE > 1$ هودسون (۸) و AI_m لال (۹) و خصوصیات از قبیل مقادیر بارندگی، حداکثر شدت و انرژی باران در پایه های زمانی مختلف، روابط همبستگی آنها با تلفات خاک در کرت های استاندارد فرسایش، بررسی و شاخصی که بیشترین همبستگی را با تلفات خاک داشته باشد، به عنوان مناسب ترین شاخص انتخاب و نقشه فرساینده استان با استفاده از این شاخص و مناسب ترین روش میان یابی تهیه شد.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی محل تحقیق

کرت های فرسایشی استاندارد در ایستگاه آبخوانداری پلدشت در استان آذربایجان غربی و در مختصات جغرافیایی $39^{\circ} 15'$ عرض شمالی و $45^{\circ} 44'$ طول شرقی واقع گردیده است. شکل (۱) موقعیت محل مطالعه در کشور و استان آذربایجان غربی را نشان می دهد.

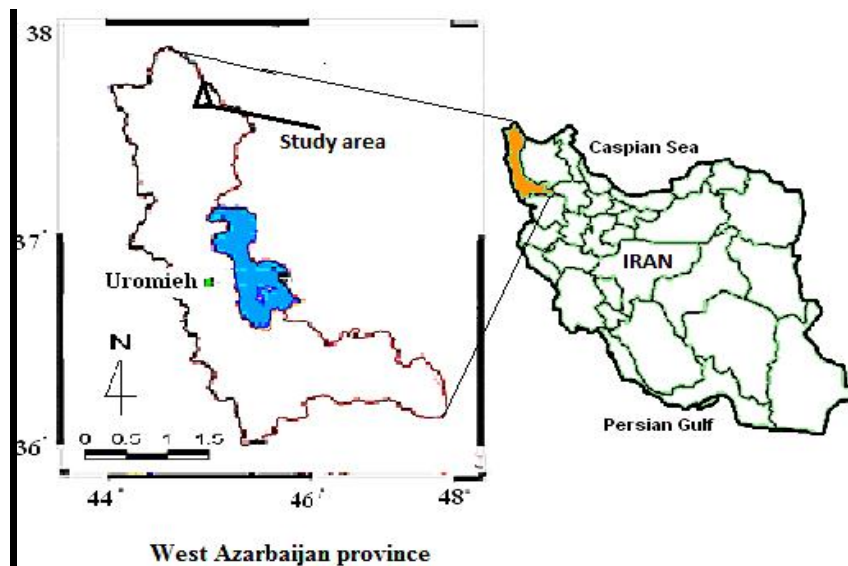
بر اساس آمار ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی پلدشت (۱۳۷۰-۱۳۹۰) متوسط بارندگی سالیانه ۲۲۳ میلی متر است که بیشترین مقدار آن در بهار (۴۴/۳) درصد بارش سالیانه و کمترین آن در تابستان (۱۰/۵) درصد بارش سالیانه رخ می دهد. متوسط سالانه تعداد روزهای بارانی ثبت شده ۶۹ روز است. بر اساس منحنی آمبروترمیک، فصل خشک منطقه از اواسط خرداد تا اواسط مهرماه است. اقلیم منطقه به روش آمبرژه خشک سرد و به روش دومارتن خشک تعیین شده است.

روش تحقیق

آمار رواناب و رسوب تعداد ۱۱ کرت استاندارد فرسایش و آمار شدت بارندگی ثبت شده جمع آوری شد. کرت استاندارد فرسایش کرتی است فاقد پوشش، که در جهت شیب شخم خورده و به صورت آیش دائمی نگهداری شود. دارای شیب ۹ درصد و عرض ۱/۸۳ متر و طول آن ۲۲/۱۳ متر است. باران نگار نصب شده در طول پنج سال مجموعاً ۲۴ واقعه رگبار منجر به تولید رواناب و تلفات خاک را ثبت نموده که عموماً در فصل بهار حادث شده است. به منظور حذف اثر رطوبت قبلی خاک در تولید رواناب، بارش هایی که در روزهای متوالی و یا با فاصله کمتر از ده روز حادث شده بود، حذف شد که به این ترتیب، ۱۹ واقعه منفرد بارندگی مورد استفاده قرار گرفت.

متغیر مقدار و حداکثر شدت بارندگی در پایه های زمانی ۱۲۰ و ۶۰ دقیقه بدست آوردند. سکوتی اسکوتی (۱۸) نیز شاخص بارندگی R را با استفاده از آمار باران سنجی در دسترس شامل بارش سالیانه و ماهیانه برای مناطق میانی آذربایجان غربی محاسبه و با انتخاب شاخص مناسب فرساینده باران می توان نقشه های فرساینده یا هم فرسا را به صورت منطقه ای تهیه کرد. میخائیلوا و همکاران (۱۱) و یو (۲۲) از کاربردهای مهم نقشه های هم فرسای باران می توان به مواردی نظیر کمک به برنامه ریزی، ارائه و اجرای طرح های مناسب حفاظت خاک و کمک به تحقیقات از طریق افزایش آگاهی از فرسایش اشاره نمود. برای کشور انگلیس هم نقشه هم فرسا با استفاده از شاخص تغییر یافته ای از $KE > 25$ یعنی $KE > 10$ تهیه شده است مورگان (۱۲). نبوی نامقی (۱۳) در استان خراسان و با استفاده از بارندگی متوسط سالانه و برآورد EI_{30} اقدام به تهیه نقشه فرساینده کرده است. حکیم خانی و همکاران (۶) برای تهیه نقشه فرساینده روش اسپالین (TPSS)^۱ با توان دو را مناسب ترین روش تشخیص دادند. نتایج خرسندی (۱۳) نشان داد که در بین شاخص های مختلف فرساینده باران، تنها شاخص فورنیه اصلاح شده همبستگی بالایی با EI_{30} دارد. موسوی کیاسری (۲۲) به این نتیجه رسید که در میان شاخص های مورد بررسی، شاخص R، با $r = 0.74$ در سطح یک درصد، بالاترین همبستگی را با میزان تلفات خاک دارد. پژوهش مظلوم علی ابادی (۱۷) نشان داد که حداکثر شدت ۴۵ دقیقه ای بارش دارای بالاترین ضریب همبستگی با میزان رسوب تولیدی در منطقه سنگانه خراسان جنوبی بود. اسمعیلی و همکاران (۷) با ارزیابی روش های مختلف تعیین فرساینده باران و با استفاده از رسوب ویژه ی ۱۱ حوزه ی آبخیز استان اردبیل، شاخص پیشینه ی شدت بارندگی یک ساعته I_{60} را به عنوان بهترین شاخص فرساینده باران برای منطقه معرفی نمودند. نتیجه تحقیق همتی و همکاران (۱۰) نشان داد در استان کرمانشاه، شاخص فرساینده EI_{60} به عنوان بهترین شاخص فرساینده باران، بالاترین مقدار همبستگی و معنی داری مناسب را با مقادیر تلفات خاک داشته است. نتایج گرامی لوشابی و همکاران (۳۶) نشان داد EI_{30} بالاترین همبستگی را با حداکثر بارندگی روزانه دارد اما برای بارش ۱۵ روزه این شاخص رابطه معنی داری به دست نیامد.

با توجه به اینکه در ایران تحقیقات محدودی بر روی شاخص فرساینده باران صورت گرفته است لذا در این



شکل ۱- موقعیت عرصه در کشور و استان
Figure 1. Location of study area in the country and province

وقایع بارندگی که در بشکه‌هایی واقع در انتهای کرت‌ها جمع‌آوری شده بود، بررسی گردید. تست نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کولموگروف- اسمیرنوف و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. داده‌ها در صورت نرمال نبودن با استفاده از توزیع لوگ‌نرمال و یا کاکس- باکس نرمال شدند. با مقایسه معیارهای سنجش خطا شامل میانگین مطلق خطا و میانگین انحراف خطا (MAE، RMSE و MBE) در مورد داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده، اقدام به ارزیابی مقاطع داده‌ها گردید. در نتیجه روش میان‌یابی مناسب با کمترین میزان خطای برآورد تعیین و نقشه شاخص فرساینده‌ی باران در نرم‌افزار GS+ تهیه گردید.

نتایج و بحث

مقادیر متوسط برخی شاخص‌های فرساینده‌ی مبتنی بر شدت بارندگی در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقادیر شاخص‌ها مربوط به شاخص توری و همکاران (۱۹) برابر ۵۲۳/۱۶ و کمترین آنها مربوط به شاخص هودسون (۷) معادل ۲۸۴/۶۹ هر دو در مقیاس $MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ است.

سپس حداکثر شدت بارندگی در پایه‌های زمانی ۱، ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه، محاسبه و مقادیر انرژی باران طبق روابط ویشمایر و اسمیت (۲۱)، مارشال و پالمی (۱۰)، هودسون (۷)، توری و همکاران (۱۹)، اوناگا (۱۵) و وان دیک و همکاران (۲۰) برای هر یک از پایه‌های زمانی فوق، مورگان (۱۲) بشرح زیر برآورد شد.

$$e = 11.87 + 8.73 \log_{10} I \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$e = 8.95 + 8.44 \log_{10} I \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$e = 29.8 - 127.5 / I \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$e = 9.81 + 11.25 \log_{10} I \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$e = 9.81 + 10.6 \log_{10} I \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$e = 28.3(1 - 0.52^{-0.042I}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آنها e انرژی باران بر حسب ژول بر متر مربع در هر میلیمتر باران و I حداکثر شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر در ساعت می‌باشد. برای محاسبه شاخص‌های بارندگی یک برنامه ماکرو در محیط اکسل تهیه شد. سپس روابط همبستگی بین شاخص‌های فوق با تلفات خاک ناشی از

جدول ۱- مقادیر متوسط شاخص‌های فرساینده‌ی مختلف در کرت‌های فرسایشی

| مقدار شاخص فرساینده‌ی $MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ | نوع شاخص‌های فرساینده‌ی |
|---|-------------------------|
| ۴۹۰/۴۵ | Wishmeier & Smith |
| ۴۲۱/۴۸ | Marshall & Palmer |
| ۵۲۳/۱۶ | Zanch & Torri |
| ۵۱۱/۴۲ | Onaga et al. |
| ۴۶۴/۶۴۲ | Van Dijk et al. |
| ۲۸۴/۶۹ | Hudson |

Table 1. Mean values of some erosivity indices of erosion plots

خاک پلات‌های یک متر مربعی با حاصلضرب انرژی جنبشی باران در حداکثر بارندگی ۵ دقیقه‌ای (EI_5) نسبت به EI_{30} بدست آوردند. این در حالی است که ویشمایر و اسمیت (۲۱) در مطالعه خود به وجود همبستگی بین تلفات خاک و EI_{30} ، رسیدند.

روابط همبستگی برقرار شده بین شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی هر رگبار و تلفات خاک کرت‌های فرسایش و رسوب برای هر رخداد بارندگی در (جدول ۲) ارائه شده است. به این ترتیب شاخص EI_{30} با ضریب همبستگی ۰/۷۳ در سطح اطمینان ۹۵ درصد به عنوان شاخص مناسب فرسایش انتخاب شد. اوسون و راموس (۲۳) رابطه بهتری بین تلفات

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی و رسوب کرت‌های فرسایش
Table 2. Correlation coefficients between indices based on rain intensity and sediment of erosion plots

| میانگین | ۱۱ | ۱۰ | ۹ | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | کرت | شاخص |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|------|
| ۰/۷۳ | ۰/۸۶ | ۰/۹۲ | ۰/۶۳ | ۰/۵۴ | ۰/۶۶ | ۰/۵۵ | ۰/۴۱ | ۰/۷۸ | ۰/۹۷ | ۰/۸۳ | ۰/۸۷ | Wishmeier & Smith | |
| ۰/۴۶ | ۰/۲۶ | ۰/۲۱ | ۰/۲۳ | ۰/۲۴ | ۰/۲۶ | ۰/۵۹ | ۰/۳۷ | ۰/۱۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۹ | ۰/۸۳ | Marshall & Palmer | |
| ۰/۴۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۰ | ۰/۲۴ | ۰/۲۳ | ۰/۲۵ | ۰/۶۳ | ۰/۳۴ | ۰/۱۷ | ۰/۹۳ | ۰/۹۵ | ۰/۸۰ | Zanch & Torri | |
| ۰/۴۶ | ۰/۲۶ | ۰/۲۱ | ۰/۲۳ | ۰/۲۴ | ۰/۲۶ | ۰/۶۱ | ۰/۳۵ | ۰/۱۸ | ۰/۹۴ | ۰/۹۶ | ۰/۸۱ | Onaga et al. | |
| ۰/۳۸ | ۰/۲۷ | ۰/۲۳ | ۰/۲۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۷ | ۰/۵۵ | ۰/۳۹ | ۰/۱۷ | ۰/۸۸ | ۰/۱۳ | ۰/۸۶ | Van Dijk et al. | |
| ۰/۳۶ | ۰/۲۳ | ۰/۳۲ | ۰/۲۴ | ۰/۳۳ | ۰/۳۴ | ۰/۲۱ | ۰/۲۹ | ۰/۴۹ | ۰/۳۵ | ۰/۴۸ | ۰/۴۵ | Hudson | |

نیک کامی و همکاران (۱۴) نیز با ارایه رابطه‌ای بین شاخص فورنیه اصلاح شده و EI_{30} سالانه به نتیجه مشابهی رسیدند. معادله ارائه شده در جدول ۳ به منظور برآورد شاخص EI_{30} در ۱۷ ایستگاه باران‌سنجی استان در یک دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۰) مورد استفاده قرار گرفت.

از بین معادلات مختلف برقرار شده بین پارامترهای در دسترس بارندگی نظیر فورنیه، فورنیه اصلاح شده، بارندگی متوسط سالانه، حداکثر بارندگی روزانه با شاخص فرسایش باران انتخابی، مطابق جدول (۳) شاخص EI_{30} با شاخص فورنیه اصلاح شده همبستگی معنی‌داری (۰/۹۳) را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد. حکیم‌خانی و همکاران (۶) و

جدول ۳- روابط رگرسیونی بین شاخص‌های EI_{30} و فورنیه اصلاح شده
Table 3. The relationship between indices of EI_{30} and Modified Fournier

| ضریب همبستگی | شرح عوامل | رابطه ریاضی |
|--------------|--|---|
| ۰/۹۲۹ | $a = -1.062/278$ $c = -0.092$ $e = -3.517 \times 10^{-19}$ | $b = 51/137$ $d = 2.26686/1$ $y = a + bx + cx^2 + d/x^2 + ee^x$ |

لوگ-نرمال در مقایسه با روش کاکس-باکس بدلیل انحراف معیار و چولگی کمتر (به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۰۱-) برای نرمال سازی داده‌ها مناسب می‌باشد.

نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد داده‌های شاخص فرسایش EI_{30} از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند (ضریب ۳/۲۴). به همین دلیل داده‌ها نرمال شدند که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. براساس این جدول، روش

جدول ۴- مشخصه‌های آماری نرمال سازی شاخص فرسایش باران
Table 4. Statistical characteristics of normalized rain erosivity index

| نوع توزیع | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف معیار | چولگی | کشیدگی |
|------------|---------|-------|--------|--------------|-------|--------|
| بدون تبدیل | ۳۰۷/۶۲ | ۲۵/۶۹ | ۲۰۱۰/۴ | ۳۰۲/۶۶ | ۱/۹۷ | ۷/۹۳ |
| لوگ-نرمال | ۵/۲۸ | ۳/۲ | ۷/۳ | ۰/۹۷ | -۰/۱۱ | ۲/۰۵۹ |
| کاکس-باکس | ۵/۵۸ | ۳/۳ | ۸/۲ | ۱/۰۸ | ۰/۱۹ | ۲/۰۷ |

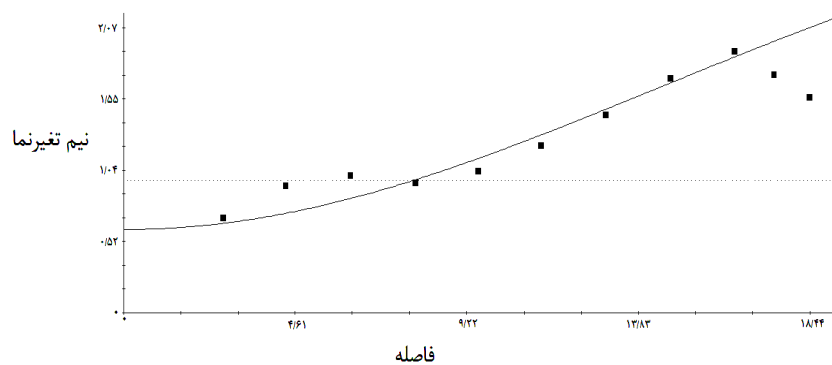
(جدول ۵). همچنین، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه نیم‌تغییرنا بیان‌گر آن است که ۸۱ درصد از تغییرات دارای توزیع تصادفی و ۱۹ درصد آن از توزیع مکانی مناسبی برخوردار می‌باشد. مجموع مربعات خطا و ضریب رگرسیونی این مدل به ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۹۱ است. شکل‌های (۲، ۳ و ۴) نشان‌دهنده نیم‌تغییرنمای ارتفاع، شاخص فرسایش و اثر متقابل شاخص فرسایش و ارتفاع می‌باشند.

واحد میانگین، حداقل و حداکثر شاخص فرسایش باران $MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ می‌باشد. در روش کوکریجینگ عامل ارتفاع در منطقه با شاخص فرسایش باران، همبستگی معنی‌داری را نشان داد ($r = 0.78^*$). مدل گوسی نیز با ضریب تبیین ۰/۹۱ به‌عنوان مناسب‌ترین مدل نیم‌تغییرنما برای برآورد شاخص فرسایش باران انتخاب شد. شعاع تاثیر نیم‌تغییرنما نیز برابر ۳۵/۲۲ کیلومتر بدست آمد

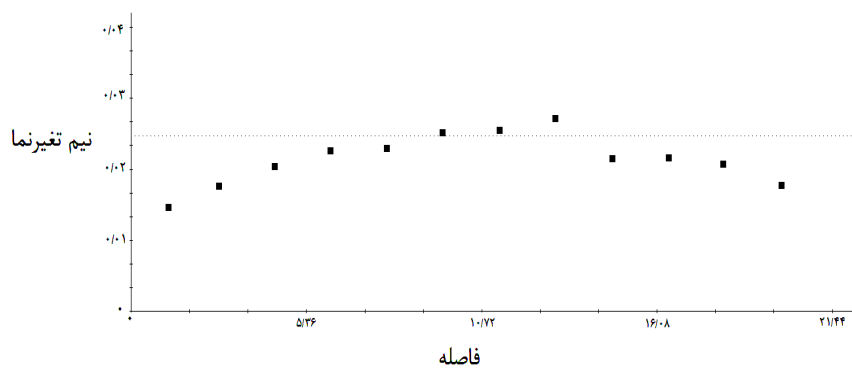
جدول ۵- پارامترهای نیم‌تغییرنمای شاخص فرسایندهی

Table 5. The parameters of the erosivity index semivariogram

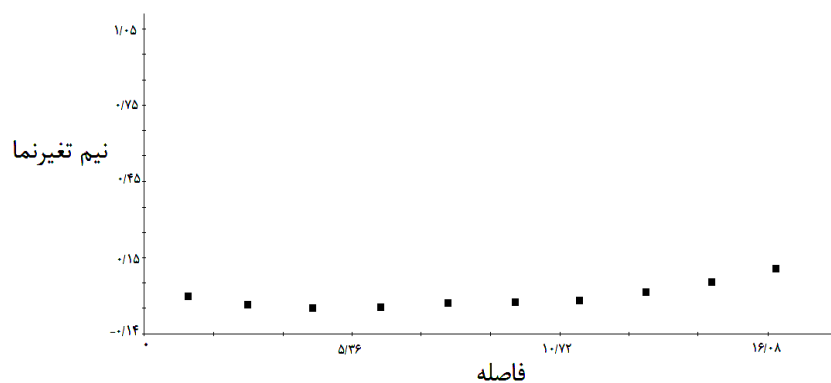
| متغیر | مدل | شعاع‌تأثیر (km) | آستانه C_0+C | اثر قطعه‌ای C_0 | C_0/C_0+C | RSS | R^2 |
|-----------|------|-----------------|----------------|-------------------|-------------|------|-------|
| EI_{30} | گوسی | ۳۵/۲۲ | ۳/۲ | ۰/۶ | ۰/۸۱ | ۰/۱۵ | ۰/۹۱ |



شکل ۲- نیم‌تغییرنمای شاخص فرسایندهی باران
Figure 2. Semivariogram of the rain erosivity index



شکل ۳- نیم‌تغییرنمای متغیر کمکی ارتفاع منطقه
Figure 3. Semivariogram of the elevation as the secondary variable



شکل ۴- نیم‌تغییرنمای اثر متقابل متغیر اصلی شاخص فرسایندهی و کمکی ارتفاع
Figure 4. Semivariogram of the rain erosivity and elevation interaction

اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم با حداقل مقادیر RMSE برابر (۱۳۳/۰۶)، MAE برابر (۸۱/۹۶) و MBE برابر (۰/۶۰) با توجه به میانگین مشاهدات (۳۰۷/۶۲) به‌عنوان مناسب‌ترین تابع انتخاب شد.

توابع مختلف روش اسپلاین شامل اسپلاین کاملاً منظم^۱، اسپلاین با کشش^۲، چند جمله‌ای درجه دوم^۳، چند جمله‌ای درجه دوم معکوس و اسپلاین صفحه نازک^۴ می‌باشند که بعد از محاسبه، با استفاده از روش ارزیابی تقاطعی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۶). در نتیجه روش

جدول ۶- ارزیابی توابع پایه شعاعی برای برآورد شاخص فرسایندهی باران

Table 6. Evaluation of radial basis functions to estimate rainfall erosivity index

| MBE | MAE | RMSE | تابع |
|------|-------|--------|---|
| ۱/۲ | ۸۶/۶۳ | ۱۳۸/۴۱ | اسپلاین کاملاً منظم |
| ۱/۰۱ | ۸۴/۴۷ | ۱۳۶/۵۲ | اسپلاین با کشش |
| ۰/۶ | ۸۱/۹۶ | ۱۳۳/۰۶ | اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم |
| ۲/۳۱ | ۸۹/۳۱ | ۱۴۲/۰۶ | اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم معکوس |
| ۴/۱۸ | ۹۱/۵۷ | ۱۵۸/۱۱ | اسپلاین صفحه نازک |

(۱۲۹/۶۴) در منطقه از دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌های برآورد شاخص فرسایندهی باران برخوردار است و پس از آن به‌ترتیب روش‌های اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم، کریجینگ معمولی، یونیورسال کریجینگ و عکس فاصله وزن‌دار قرار دارند.

مقادیر خطای کل، خطای مطلق و انحراف روش‌های عکس فاصله وزن‌دار، کریجینگ، کوکریجینگ و اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم در جدول (۷) ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، روش کوکریجینگ با کم‌ترین میزان خطای مطلق (۸۱/۴۱) و میانگین مربعات خطا

جدول ۷- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی در برآورد شاخص فرسایندهی باران

Table 7. The results of the evaluation of different interpolation methods to estimate rainfall erosivity index

| خطا | عکس فاصله وزن‌دار | کریجینگ معمولی | یونیورسال کریجینگ | کوکریجینگ | اسپلاین با تابع درجه دوم |
|------|-------------------|----------------|-------------------|-----------|--------------------------|
| MAE | ۹۰/۰۲ | ۸۲/۱۲ | ۸۵/۱۷ | ۸۱/۴۱ | ۸۱/۹۶ |
| MBE | ۱/۶۶ | ۲/۷۸ | -۹/۴۹ | ۲/۷۶ | ۰/۶ |
| RMSE | ۱۴۷/۸۳ | ۱۴۹/۸۳ | ۱۴۶/۷۶ | ۱۴۹/۶۴ | ۱۳۳/۰۶ |

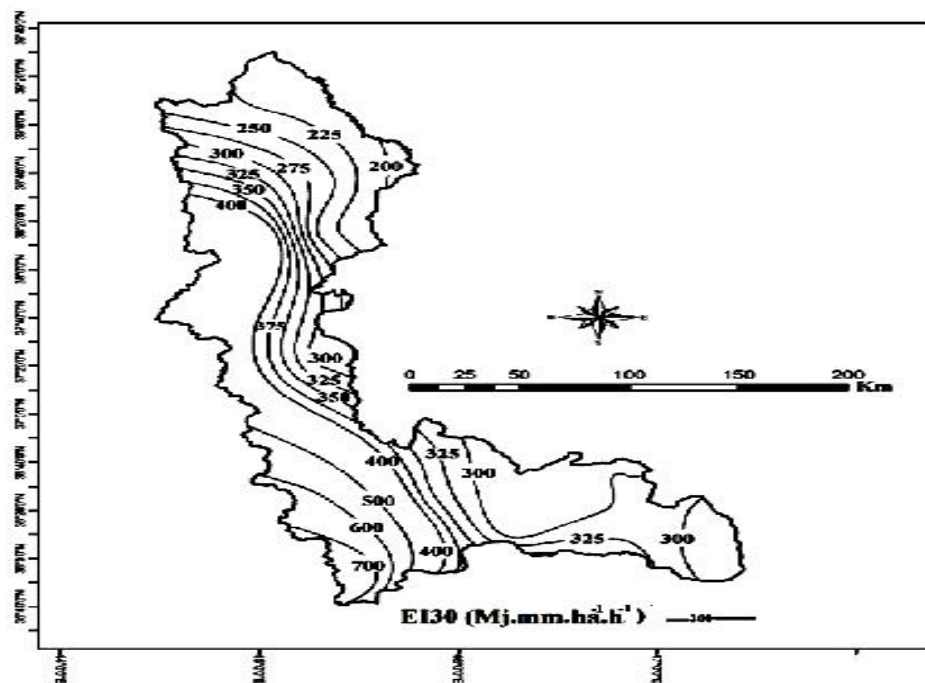
روش میان‌یابی مناسب برای تهیه نقشه هم‌فرسای بارندگی در استان آذربایجان غربی بکار گرفته شد که در شکل ۵ نشان داده شده است. حکیم خانی و همکاران (۶) برای تهیه نقشه فرسایندهی در حوضه دریاچه نمک، روش TPSS با توان دو را مناسب‌ترین روش تشخیص دادند. براساس شکل ۵ مقادیر سالانه این شاخص بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) به ترتیب در شمال غرب و جنوب شرق استان می‌باشد.

براساس جدول ۷، خطای مطلق در روش کوکریجینگ نسبت به روش اسپلاین با تابع درجه دوم ۰/۶۷ درصد کاهش داشته است. اما مقدار انحراف در روش اسپلاین با تابع درجه دوم معکوس ۷۸/۲ درصد کمتر از روش کوکریجینگ است. با در نظر گرفتن شرایط مختلف اقلیمی استان، شرط ایستایی که از شروط استفاده از روش‌های زمین‌آماري شامل انواع کریجینگ و کوکریجینگ است، برقرار نمی‌باشد، بنابراین با وجود میانگین مطلق خطای کمتر در روش کوکریجینگ، این روش مورد استفاده قرار نگرفت و روش اسپلاین به عنوان

1- Completely Regularized Spline
4- Inverse Multiquadratic

2- Spline with Tension
5- Inverse Multiquadratic

3- Multiquadratic



شکل ۵- نقشه شاخص فرساینده‌گی باران (EI_{30}) آذربایجان غربی
Figure 5. Map of the rain erosivity index (EI_{30}) west Azarbaijan

استان بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگا ژول بر میلی‌متر بر هکتار در ساعت است.

به منظور افزایش دقت تحقیق، توصیه می‌شود پراکنش کرت‌ها با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی متفاوت بهبود داده شود به نحوی که بتوان استان را به وسیله آن‌ها تحت پوشش قرار داد. همچنین، طول دوره آماربرداری از مقادیر شدت، مقدار بارندگی و رسوب خروجی متناظر آن‌ها نیز بیشتر شود، این امر می‌تواند نتایج دقیق‌تری را سبب شود.

توصیه می‌شود امکان اندازه‌گیری سایر پارامترهای بارندگی از قبیل قطر و سرعت سقوط قطرات باران نیز فراهم شود تا به این طریق بتوان علاوه بر شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر شدت و مقدار بارندگی، شاخص‌های مرتبط را نیز مورد مطالعه قرار داد.

با توجه به این که در تحقیق حاضر تغییرات مکانی شاخص فرساینده‌گی باران مورد بررسی قرار گرفته است، توصیه می‌شود تغییرات زمانی آن نیز برای فصول مختلف نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

در این پژوهش شاخص‌های فرساینده‌گی باران EI_{30} ویشمایر و اسمیت، P/\sqrt{t} اونچف، $KE > 1$ هودسون و AI_m لال و روابط همبستگی آنها با تلفات خاک در کرت‌های استاندارد فرسایش بررسی شد. نتایج نشان داد مناسب‌ترین شاخص بارندگی در رابطه با تلفات خاک EI_{30} است. با توجه به اینکه برای محاسبه این شاخص خصوصیاتی از قبیل مقادیر بارندگی، حداکثر شدت و انرژی باران در پایه‌های زمانی مختلف مورد نیاز است که در بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی ثبت نمی‌شود، برای برآورد شاخص بارندگی از مقادیر زودیافت بارندگی، شاخص اصلاح شده فورنیه که در سطح ۹۵ درصد اطمینان با این شاخص همبستگی دارد، انتخاب شد. بررسی و مقایسه روش‌های زمین آماری نشان داد با وجود ارجحیت روش کوکریجینگ، بدلیل عدم وجود ایستایی در داده‌های بارندگی، روش اسپلاین با توان دو برای میانمایی مناسب‌تر است لذا برای تهیه نقشه هم‌فرسای بارندگی مورد استفاده قرار گرفت. نقشه هم‌فرسای تهیه شده نشان داد مقادیر سالیانه این شاخص در

منابع

1. Angulo-Martínez, M., M. López-Vicente, S.M. Vicente-Serrano and S. Beguería. 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 1907-1920.
2. Baskan, O., H. Cebel, S. Akgul and G. Erpul. 2010. Conditional simulation of USLE/RUSLE soil erodibility factor by geostatistics in a Mediterranean Catchment, Turkey. *Environ Earth Science*, 60: 1179-1187.
3. Chmelová, R. and B. Šarapatka. 2002. Soil erosion by water: contemporary research methods and their use. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Geographica*, 37: 23-30.

4. Davidson, P., M.G. Hutchins, S.G. Anthony, M. Betson, C. Johnson and E.I. Lord. 2005. The relationship between potentially erosive energy and daily rainfall quantity in England and Wales, *Science of the Total environment*, 344: 15-25.
5. Diodato, N. 2005. Predicting RUSLE monthly erosivity index from readily available rainfall data in the Mediterranean area. *The Environmentalist*, 25: 63-70.
6. Diodato, N. and M. Ceccarelli. 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation in the Sennio mountains (Southern Italy). *Earth Surface and Landform*, 30: 259-268.
7. Esmaili Oori, A., M. Abedini, A. Kavian and H. Saadati. 2014. The relationship between power rain erosivity and sediment yield using GIS and geostatistics in Ardabil Province. *Journal Science and Management Engineering*, 4: 51-57 (In Persian).
8. Glossary of Soil Science Terms. 2008. Soil Science Society of America. Madison, Wis. 44 pp.
9. Hakim Khani, Sh., M.H. Mahdin and M. ArabKhedri. 2007. Mapping of rain erosion for the Salt Lake area. *Journal of Natural Resources*, 60: 713-726 (In Persian).
10. Hemati, M., D. Nikkami, H. Ahmadi, Gh. Zehtabian and M. Jafari. 2009. Determining appropriate of rain erosivity in the cold semi-arid climate, the case study Kermanshah province: *Journal of Engineering and Watershed Management*, pp: 21 (In Persian).
11. Hudson, N.W. 1965. The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion with particular reference to Southern Rhodesia. MSc thesis, University of Cape Town. 151 pp.
12. Hudson, N.W. 1971. Soil conservation. Cornell University Press, Ithaca, New York. 126 pp.
13. Khorsandi, N., M.H. Mahdian, E. Pazira, D. Nikkami. 2011. To determine the appropriate index rain erosivity in semi-arid climate and very humid, the Caspian Basin, *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 15: 117-126 (In Persian).
14. Lal, R. 1976. Soil erosion on Alfisols in western Nigeria, III: Effects of rainfall characteristics, *Geoderma*, 16: 389-401.
15. Marshall, J.S. and W.M. Palmer. 1948. The distribution of raindrops with size, *Journal of Meteorology*, 5: 165-166.
16. Martins, S.G., J.C. Avanzi, M.L.N. Silva, N. Curi, L.D. Norton and S. Fonseca. 2010. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the coastal plain of Espírito Santo, Brazil. *Rev Bras Ci Solo*, 34: 999-1004.
17. Mazloom Aliabad, Y. 2014. Rain erosivity and erodibility index of soil in the USLE (Sanganeh area, South Khorasan), MSc Thesis Faculty of Agriculture, 130 pp (In Persian).
18. Men, M., Z. Yu and H. Xu. 2008. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province, China, *Frontiers of Agriculture in China*, 2: 281-289.
19. Mikhailova, E.A., R.B. Bryant, S.J. Schwager and S.D. Smith. 1997. Predicting rainfall erosivity in Honduras. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 273-279.
20. Ming-His, L.T. and H.H. Lin. 2015. Evaluation of Annual Rainfall Erosivity Index Based on Daily, Monthly and Annual Precipitation Data of Rainfall Station Network in Southern International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2015 (2015), Article ID 214708, 150 pp
21. Morgan, R.P.C. 1995. Soil Erosion and Conservation. Addison-Wesley, London, 198 pp.
22. Mousavi Kiasari, A., D. Nikkami, M.H. Mahdian, E. Pazira. 2012. Determination and Estimation rain erosivity index in Khorasan Razavi province, *J. Watershed researches*, 25: 45-57 (In Persian).
23. Nabavi namegi, Gh. 1998. Determination of rainfall erosivity index in the province. MA thesis, University of Madras. 128 pp (In Persian).
24. NickKami, D., P. Razmjoo, A. Ardakani and F. Biat Movahed. 2005. Indices of rain erosion in dry land. Third National Conference on Erosion and Sedimentation, 28 to 31 Sept., Tehran (In Persian).
25. Onaga, K., K. Shirai and A. Yoshinaga. 1988. Rainfall erosion and how to control its effects on farmland in Okinawa. In: Rimwanich, S. (Ed.), *Land Conservation for Futute Generations*. Department of Land Development, Bangkok. pp: 627-639.
26. Onchev, N.G. 1985. Universal index for calculating rainfall erosivity. In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C. and Lo, A. (eds), *Soil erosion and conservation*, Soil Conservation Society of America, Ankeny, IO, pp: 424-431.
27. Salles, C. and J. Poesen. 2000. Rain properties controlling soil splash detachment. *Hydrological Processes*, 14: 271-282.
28. Silva, R.B., P. Iori, C. Armesto and H.N. Bendini. 2010. Assessing Rainfall Erosivity with Artificial Neural Networks for the Ribeira Valley, Brazil. *International Journal of Agronomy*, 2010: 1-7.
29. Sokouti Oskoe R. 1999. Calculation of rainfall erosivity index (R) in the central region of West Azerbaijan. *Journal of Watershed Management Research*, 43: 17-11 (In Persian).
30. Torri, D., J. Poesen and L. Borselli. 1997. Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena*, 31: 1-22.
31. Usón, A. and M.C. Ramos. 2001. An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate. *CATENA*, 43: 293-305.
32. Van Dijk, A.I.J.M., L.A. Bruijnzeel and C.J. Rosewell. 2002. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *Journal of Hydrology*, 261: 1-23.
33. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses- A guide to conservation planning, USDA, *Agricultural Handbook*, No. 537, 58 pp.
34. Yin, S., Y. Xie, M.A. Nearing and C. Wang. 2007. Estimation of rainfall erosivity using 5-to 60-minute fixed-interval rainfall data from China. *Catena*, 70: 306-312.
35. Yu, B. 1998. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics. *Australian Journal of Soil Research* 36, pp. 143-65.
36. Gerami-Loushabi, Z., M. Arabkhedri, H. Asadi and R. Bayat. 2016. Temporal Fluctuations of the rain erosivity on seasonal variations of suspended sediment (Case Study of Kasilian), *Journal of Watershed Management Research*, 14: 167-176 (In Persian).

Study of Rain Erosivity Index of West Azarbaijan Province for Rain Iso-Erosive Mapping

Reza Sokouti¹, Dawod Nik Kami² and Ebrahim Brooshke³

1- Associate Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azarbaijan, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Urmia, Iran (Corresponding Author: rezasokouti@gmail.com)

2- Professor of National Watershed Research Institute, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Tehran, Iran.

3- Researcher of Department of Soil Conservation and Watershed Research, Agriculture and Natural Resources Research Center of West Azarbaijan, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Urmia, Iran.

Received: June 22, 2015 Accepted: October 14, 2015

Abstract

Rainfall erosivity is one of the major factors of soil erosion that expressed as some indices. The objective of this study is to determine the appropriate rainfall erosivity index in West Azarbaijan in relation to soil loss at the erosion standard plates. After recording the rainfall amounts in a certain time periods, erosivity indices calculated and appropriate index was selected for the area. Selected index calculated through available indicators such as Modified Fournier, annual rainfall and average maximum daily rainfall in stations without rainfall Intensity statistics and the best index was obtained. To provide the Iso-erosive map, geostatistics based interpolation methods were used by cross validation. Results showed that EI_{30} were the best correlated with soil loss than other erosivity indices. The results also showed the modified Fournier index had a significant correlation at 95% with EI_{30} . The error of the co-kriging method when compared to the IDW, Ordinary kriging, Universal kriging and spline methods declined by 10.57%, 0.71%, 4.6% and 0.67% respectively but due to the instability of the EI_{30} data, Spline Interpolation method is well fitted for rain erosivity index. The annual value of this index obtained between 200 and 700 MJ mm ha h. Prepared map presence of rain erosion index decreased from West to East of the province.

Keywords: Geostatistic, Rainfall Erosivity Index, Standard Erosion Plots