دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

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

رضا سکوتی اسکوئی[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

فرسایندگی باران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر فرسایش خاک مطرح است که در قالب شاخص‌هایی بیان می‌شود. این پژوهش با هدف تعیین شاخص فرسایندگی مناسب در رابطه با تلفات خاک در کرت‌های استاندارد ایستگاه آبخوان‌داری پلدشت آذربایجان‌غربی 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 متقاطع استفاده شد. نتایج نشان داد EI_{30} مناسب‌ترین شاخص فرسایندگی باران می‌باشد که با شاخص فورنیه اصلاح شده در سطح ۹۵ درصد اطمینان، همبستگی دارد. براساس رابطه بدست آمده شاخص فرسایندگی 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 وزن‌دار، کریجینگ، اسپلاین به میزان ۱۰/۵۷، ۰/۷۱، ٤/٦ و ۰/٦۷ درصد کاهش دارد. ولی به دلیل عدم وجود ایستایی در داده‌های EI_{30}، روش اسپلاین برای میانیابی تغییرات مکانی شاخص فرسایندگی باران نسبت به سایر روش‌های میانیابی مورد بررسی مناسب‌تر است. همچنین مقادیر سالیانه این شاخص در استان بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگا ژول بر میلی‌متر بر هکتار در ساعت بدست آمد. نقشه هم فرسای تهیه شده حاکی از وجود روند کاهشی شاخص فرسایندگی باران از غرب به شرق استان می‌باشد.

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

مقدمه

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 فرسایندگی 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 پیشنهاد نمود. در ادامه این تحقیقات دیوداتو (۳) در تحقیقی در ایتالیا مقادیر شاخص فرسایندگی 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 به عنوان شاخص فرسایندگی قادر به برآورد دقیق‌تر قدرت فرسایندگی 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 فرسایندگی سالانه است که از این طریق می توان برآوردهایی از این شاخص بدست آورد. محققین زیادی مانند یین و همکاران (۳۴)، مین و همکاران (۱۸)، باسکان و همکاران (۲)، سیلوا و همکاران (۲۸)، مارتینز و همکاران (۱۶) تکنیک‌های درون یابی فضایی مانند" فاصله معکوس وزنی"، "کریجینگ " را برای تهیه نقشه های توزیع فضایی شاخص R مورد استفاده قرار داده اند. در ایران نیز نیک‌کامی و همکاران (۱۴) بالاترین همبستگی در سطوح ۹۹ تا ۹۵ درصد اطمینان را بین مقادیر رواناب و رسوب با دو

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]

متغیر مقدار و حداکثر شدت بارندگی در پایه های زمانی ۱۲۰ و ۶۰ دقیقه بدست آوردند. سکوتی اسکوئی (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 فرسایندگی باران می‌توان نقشه‌های فرسایندگی یا هم‌فرسا را به صورت منطقه‌ای تهیه کرد. میخائیلوا و همکاران (۱۱) و یو (۲۲) از کاربردهای مهم نقشه های هم فرسای باران می توان به مواردی نظیر کمک به برنامه‌ریزی، ارائه و اجرای طرح‌های 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 یافته‌ای 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 فرسایندگی کرده است. حکیم‌خانی و همکاران (۶) برای تهیه نقشه فرسایندگی روش اسپلاین (TPSS)[1] با توان دو را مناسب‌ترین روش تشخیص دادند. نتایج خرسندی (۱۳) نشان داد که در بین شاخص‌های مختلف فرسایندگی 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= ۰/۷۴۰ در سطح یک درصد، بالاترین همبستگی را با میزان تلفات خاک دارد. پژوهش مظلوم علی ابادی **(۱۷)** نشان داد که حداکثر شدت ۴۵ دقیقه‌ای 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 فرسایندگی باران و با استفاده از رسوب ویژه‌ی ۱۱ حوزه‌ی آبخیز استان اردبیل، شاخص بیشینه‌ی شدت بارندگی یک ساعته I_{60} را به عنوان بهترین شاخص فرسایندگی باران برای منطقه معرفی نمودند. نتیجه تحقیق همتی و همکاران (۱۰) نشان داد در استان کرمانشاه، شاخص فرسایندگی EI_{60}، به عنوان بهترین شاخص فرسایندگی باران، بالاترین مقدار همبستگی و معنی‌داری مناسب را با مقادیر تلفات خاک داشته است. نتایج گرامی‌لوشابی و همکاران (۳۶) نشان داد EI_{30} بالاترین همبستگی را با حداکثر بارندگی روزانه دارد اما برای بارش ۱۵ روزه این شاخص رابطه معنی‌داری به دست نیامد.

با توجه به اینکه در ایران تحقیقات محدودی بر روی شاخص فرسایندگی باران صورت گرفته است لذا در این تحقیق با بررسی شاخص های فرسایندگی باران نظیر EI_{30} ویشمایر و اسمیت (۲۱)، $P/\sqrt{t}$ اونچف (۱۶)، $KE > 1$ هودسون (۸) و AI_m لال (۹) و خصوصیاتی از قبیل مقادیر بارندگی، حداکثر شدت و انرژی باران در پایه‌های زمانی مختلف، روابط همبستگی آنها با تلفات خاک در کرت‌های استاندارد فرسایش، بررسی و شاخصی که بیشترین همبستگی را با تلفات خاک داشته باشد، به عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب و نقشه فرسایندگی استان با استفاده از این شاخص و مناسب‌ترین روش میان‌یابی تهیه شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محل تحقیق

کرت های فرسایشی استاندارد در ایستگاه آبخوانداری پلدشت در استان آذربایجان غربی و در مختصات جغرافیایی ۱۵ َ ۳۹ ° عرض شمالی و ۴۵ َ ۴۴ ° طول شرقی واقع گردیده است. شکل (۱) موقعیت محل مطالعه در کشور و استان آذربایجان‌غربی را نشان می‌دهد.

بر اساس آمار ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی پلدشت (۱۳۹۰-۱۳۷۰) متوسط بارندگی سالیانه ۲۲۳ میلی‌متر است که بیشترین مقدار آن در بهار (۴۴/۳ درصد بارش سالیانه) و کمترین آن در تابستان (۱۰/۵ درصد بارش سالیانه) رخ می‌دهد. 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.

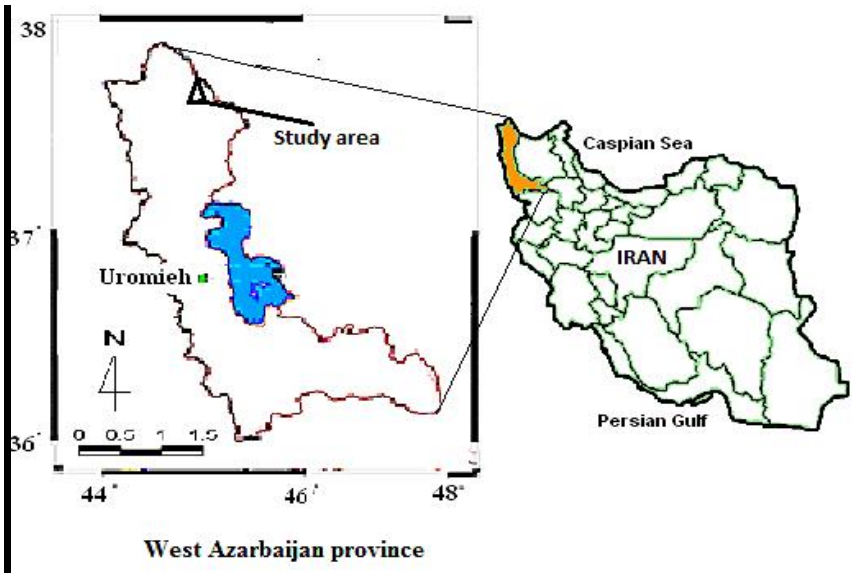
روش تحقیق

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 دایمی نگهداری شود. دارای شیب ۹ درصد و عرض ۱/۸۳ متر و طول آن ۲۲/۱۳ متر است. باران‌نگار نصب شده در طول پنج سال مجموعاً ۲۴ واقعه رگبار منجر به تولید رواناب و تلفات خاک را ثبت نموده که عموما در فصل بهار حادث شده است. به‌منظور حذف اثر رطوبت قبلی خاک در تولید رواناب، بارش‌هایی 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.

1- Thin plate splines

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]



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

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.

رابطه (۱) $e = 11.87 + 8.73 Log_{10} I$

رابطه (۲) $e = 8.95 + 8.44 Log_{10} I$

رابطه (۳) $e = 29.8 - 127.5 / I$

رابطه (۴) $e = 9.81 + 11.25 Log_{10} I$

رابطه (۵) $e = 9.81 + 10.6 Log_{10} I$

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

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 شاخص های فوق با تلفات خاک ناشی از 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 (RMSE، MAE و MBE) در مورد داده‌های برآورد شده و اندازه گیری شده، اقدام به ارزیابی متقاطع داده‌ها گردید. در نتیجه روش میان‌یابی مناسب با کمترین میزان خطای برآورد تعیین و نقشه شاخص فرسایندگی باران در نرم‌افزار **GS+** تهیه گردید.

نتایج و بحث

مقادیر متوسط برخی شاخص‌های فرسایندگی مبتنی بر شدت بارندگی در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقادیر شاخص ها 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.

جدول ۱- مقادیر متوسط شاخص‌های فرسایندگی مختلف در کرت‌های فرسایشی
Table 1. Mean values of some erosivity indices of erosion plots

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]

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 فرسایندگی انتخاب شد. اوسون و راموس (۲۳) رابطه بهتری بین تلفات 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.

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

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

از بین معادلات مختلف برقرار شده بین پارامترهای در دسترس بارندگی نظیر فورنیه، فورنیه اصلاح شده، بارندگی متوسط سالانه، حداکثر بارندگی روزانه با شاخص فرسایندگی 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 نیک کامی و همکاران (۱۴) نیز با ارایه رابطه‌ای بین شاخص فورنیه اصلاح شده و EI_{30} سالانه به نتیجه مشابه‌ای رسیدند. معادله ارائه شده در جدول ۳ به‌منظور برآورد شاخص EI_{30} در ۱۷ ایستگاه باران‌سنجی استان در یک دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۰) مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۳- روابط رگرسیونی بین شاخص‌های EI_{30} و فورنیه اصلاح شده

Table 3. The relationship between indices of EI_{30} and Modified Fournier

رابطه ریاضی	شرح عوامل		ضریب همبستگی
$y=a+bx+cx^2+d/x^2+ee^{-x}$	b=۵۱/۱۳۷	a = -۱۰۶۲/۲۷۸	۰/۹۲۹
	d=۲۰۳۶۶۸۶/۱	c = -۰/۰۹۲	
		e = $-۳/۵۱۷\times۱۰^{۱۹}$	

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

جدول ۴- مشخصه‌های آماری نرمال سازی شاخص فرسایندگی 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	-۰/۰۱۱	۲/۰۵۹
کاکس-باکس	۵/۵۸	۳/۳	۸/۲	۱/۰۸	۰/۰۱۹	۲/۰۷

واحد میانگین، حداقل و حداکثر شاخص فرسایندگی باران $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ می‌باشد. در روش کوکریجینگ عامل ارتفاع در منطقه با شاخص فرسایندگی باران، همبستگی معنی‌داری را نشان داد ($r=۰/۷۸^{**}$). مدل گوسی نیز با ضریب تبیین ۰/۹۱ به‌عنوان مناسب‌ترین مدل نیم‌تغییرنما برای برآورد شاخص فرسایندگی باران انتخاب شد. شعاع تاثیر نیم‌تغییرنما نیز برابر ۳۵/۲۲ کیلومتر بدست آمد (جدول ۵). هم‌چنین، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه نیم‌تغییرنما 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 به‌ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۹۱ است. شکل‌های (۲، ۳ و ۴) نشان‌دهنده نیم‌تغیرنمای ارتفاع، شاخص فرسایندگی و اثر متقابل شاخص فرسایندگی و ارتفاع می‌باشند.

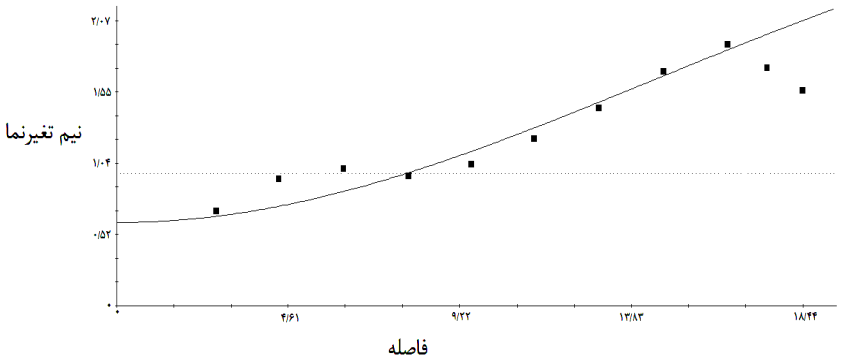
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]

جدول ۵- پارامترهای نیم‌تغییرنمای شاخص فرسایندگی

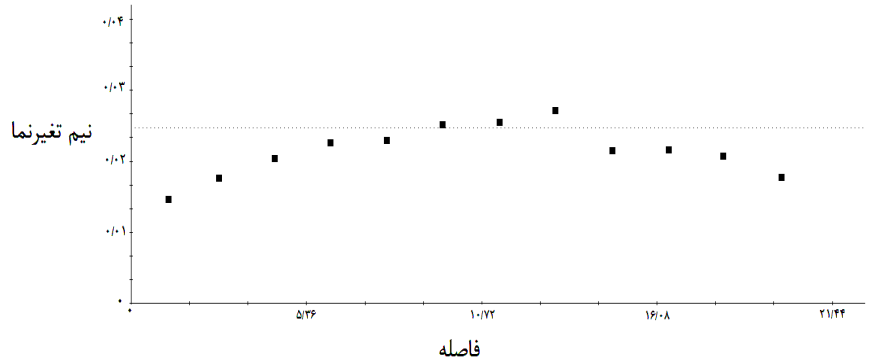
Table 5. The parameters of the erosivity index semivariogram

متغیر	مدل	شعاع‌تاثیر (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



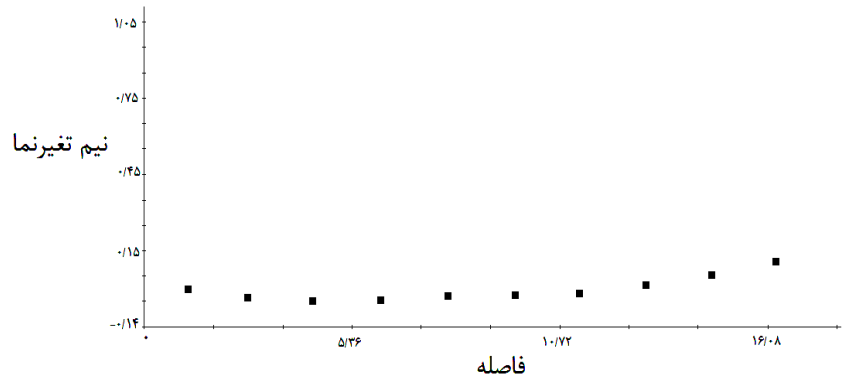
شکل ۲- نیم تغییرنمای شاخص فرسایندگی باران

Figure 2. Semivariogram of the rain erosivity index



شکل ۳- نیم تغییرنمای متغیر کمکی ارتفاع منطقه

Figure 3. Semivariogram of the elevation as the secondary variable



شکل ۴- نیم تغییرنمای اثر متقابل متغیر اصلی شاخص فرسایندگی و کمکی ارتفاع

Figure 4. Semivariogram of the rain erosivity and elevation interaction

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]

توابع مختلف روش اسپلاین شامل اسپلاین کاملا منظم[1]، اسپلاین با کشش[2]، چند جمله‌ای درجه دوم[3]، چند جمله‌ای درجه دوم معکوس[4] و اسپلاین صفحه نازک[5] می‌باشند که بعد از محاسبه، با استفاده از روش ارزیابی تقاطعی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۶). در نتیجه روش اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم با حداقل مقادیر RMSE برابر (۱۳۳/۰۶)، MAE برابر (۸۱/۹۶) و MBE برابر (۰/۶۰) باتوجه به میانگین مشاهدات (۳۰۷/۶۲) به‌عنوان مناسب‌ترین تابع انتخاب شد.

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

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

تابع	RMSE	MAE	MBE
اسپلاین کاملا منظم	۱۳۸/۴۱	۸۶/۶۳	۱/۲
اسپلاین با کشش	۱۳۶/۵۲	۸۴/۴۷	۱/۰۱
اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم	۱۳۳/۰۶	۸۱/۹۶	۰/۶
اسپلاین با تابع چندجمله‌ای درجه دوم معکوس	۱۴۲/۰۶	۸۹/۳۱	۲/۲۱
اسپلاین صفحه نازک	۱۵۸/۱۱	۹۱/۵۷	۴/۱۸

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 (۱۲۹/۶۴) در منطقه از دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌های برآورد شاخص فرسایندگی 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.

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

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

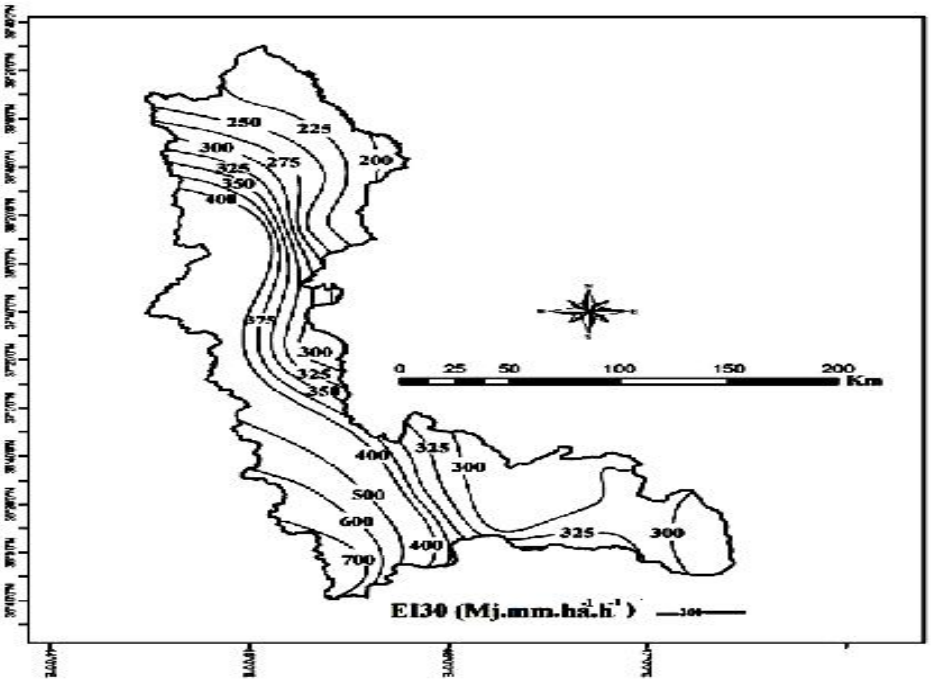
خطا	عکس فاصله وزن‌دار	کریجینگ معمولی	یونیورسال کریجینگ	کوکریجینگ	اسپلاین با تابع درجه دوم
MAE	۹۰/۰۲	۸۲/۱۲	۸۵/۱۷	۸۱/۴۱	۸۱/۹۶
MBE	۱/۶۶	۲/۷۸	-۹/۴۹	۲/۷۶	۰/۶
RMSE	۱۴۷/۸۳	۱۲۹/۸۳	۱۳۶/۷۶	۱۲۹/۶۴	۱۳۳/۰۶

براساس جدول ۷ ، خطای مطلق در روش کوکریجینگ نسبت به‌روش 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 زمین‌آماری 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 روش میانیابی مناسب برای تهیه نقشه هم‌فرسای بارندگی در استان آذربایجان‌غربی بکار گرفته شد که در شکل ۵ نشان داده شده است. حکیم خانی و همکاران (۶) برای تهیه نقشه فرسایندگی در حوضه دریاچه نمک، روش TPSS با توان دو را مناسب‌ترین روش تشخیص دادند. براساس شکل ۵ مقادیر سالیانه این شاخص بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ ($MJ\ \ mm\ \ ha^{-1}\ h^{-1}$) به ترتیب در شمال‌غرب و جنوب شرق استان می‌باشد.

1- Completely Regularized Spline
2- Spline with Tension
3- Multiquadratic
4- Inverse Multiquadratic
5- Inverse Multiquadratic

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]



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

در این پژوهش شاخص های فرسایندگی 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 میانیابی مناسب‌تر است لذا برای تهیه نقشه هم‌فرسای بارندگی مورد استفاده قرار گرفت. نقشه هم‌فرسای تهیه شده نشان داد مقادیر سالیانه این شاخص در استان بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگا ژول بر میلی‌متر بر هکتار در ساعت است.

به‌منظور افزایش دقت تحقیق، توصیه می‌شود پراکنش کرت‌ها با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی متفاوت بهبود داده شود به‌نحوی که بتوان استان را به‌وسیله 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 به‌این طریق بتوان علاوه بر شاخص‌های فرسایندگی مبتنی بر شدت و مقدار بارندگی، شاخص‌های مرتبط را نیز مورد مطالعه قرار داد.

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

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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]

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 multivariates geostatistics for mapping of climatological precipitation in the Sennio mountains (Southern Italy). Earth Surface and Landform, 30: 259-268.
7. Esmaeili 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 erodibity 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 Oskoee R. 1999. Calculation of rainfall erosivity index (R) in the central region of West Azerbaijan. Journal of Whatershed 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. Tempral 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).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]

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

Reza Sokouti[1], Dawod Nik Kami[2] and Ebrahim Brooshke[3]

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, Universall kriging and spline methods declined by 10.57%, 0.71%, 4.6% and 0.67% respectively but due to the unstability 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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.36]