

تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان آذربایجان غربی

تارا شاه‌حسین^۱، حبیب نظرزاد^{۲*}، فرخ اسدزاده^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸)

چکیده

تاکنون شاخص‌های مختلفی برای فرساینده‌گی باران ارائه شده‌اند که از میان آن‌ها شاخص $R(EI_{30})$ در مدل USLE از مقبولیت بیشتری برخوردار است. این پژوهش با هدف تعیین شاخص فرساینده‌گی باران (EI_{30}) در استان آذربایجان غربی انجام گرفت. به منظور برآورد شاخص یادشده از تحلیل رگرسیونی بین این شاخص و برخی از شاخص‌های زودیاقت در ۱۳ ایستگاه مجهز به باران‌نگار استفاده شد. شاخص EI_{30} بیش‌ترین همبستگی را با شاخص فورنیه اصلاح‌شده کلی ($R^2=0/9$) نشان داد. سپس مقدار شاخص EI_{30} برای ۶۶ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره آماری مشترک ۲۰ سال (۲۰۱۲ - ۱۹۹۳) محاسبه شد. نتایج نشان داد که تغییرات شاخص EI_{30} در استان بسیار زیاد بوده و در دامنه ۶۲/۵۴ تا ۲۳۰/۰۵ مگاژول میلی‌متر در هکتار در ساعت در سال قرار دارد. حداکثر فرساینده‌گی در جنوب غربی استان و حداقل آن در مناطق شمالی و شرق استان مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: انرژی جنبشی باران؛ شاخص EI_{30} ؛ شاخص فورنیه اصلاح‌شده؛ فرساینده‌گی باران

شاه‌حسین ت.، نظرزاد ح.، و اسدزاده ف. ۱۴۰۰. تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان آذربایجان غربی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹، شماره ۴. صفحه: ۴۹-۶۱.

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک: h.nazarejad@urmia.ac.ir

مقدمه

اگرچه عوامل مؤثر بر فرسایش خاک تحت تأثیر شرایط زمانی و مکانی متنوع هستند، لیکن مهم‌ترین آن‌ها عبارت از عوامل اقلیمی، فرسایش‌پذیری خاک، شیب زمین، پوشش گیاهی و نحوه بهره‌برداری از اراضی یا عامل مدیریت می‌باشند. زمان رخداد و مقدار فرسایش خاک و همچنین عوامل مؤثر بر آن‌ها، دارای دامنه تغییرات وسیعی بوده و از مکانی به مکان دیگر متفاوت است (Auzet et al., 1995; Morgan, 1995; Brunner et al., 2004). از دیدگاه مدل‌سازی، فرآیند فرسایش خاک تابعی از عوامل مربوط به فرسایش‌پذیری و فرساینده گی است. فرساینده گی باران، نیروی محرکه یا توان عامل فرسایش‌زا در جداسازی و انتقال ذرات خاک در ارتباط با فرسایش آبی است (Lal & Elliot, 1994; Ahmadi et al., 2015). بیان نقش باران در ایجاد فرسایش خاک، اصلی‌ترین مبحث فرسایش آبی است چراکه باران اساس شروع فرسایش آبی است. از نظر کمی، فرساینده گی باران به ویژگی از آن اطلاق می‌شود که دارای بیشترین همبستگی با مقدار تلفات خاک باشد (Nikkami & Mahdian, 2015; Ghahremannejad et al., 2017). درواقع، قدرت فرساینده گی باران، نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش در هر منطقه است (Morgan, 2005). شاخص‌های فرساینده گی باران، به‌طور مستقیم از طریق اندازه‌گیری تلفات خاک در شرایط صحرائی و ارتباط دادن این تلفات با ویژگی‌های مختلف بارندگی، تعیین می‌شوند (Lal & Elliot, 1994). باین‌حال، علاوه بر مشکلات اندازه‌گیری فرسایش در شرایط طبیعی و تغییرات مکانی و زمانی آن، تعیین مستقیم شاخص‌های فرساینده گی در سطح وسیع نیز دشواری‌هایی دارد (Lal & Elliot, 1994; Wischmeier & Smith, 1978; Salles & Poese, 2000). بنابراین، پژوهشگران در سطح دنیا عموماً از روابط تجربی که در شرایط مشابه منطقه مورد مطالعه ایجاد شده‌اند، برای محاسبه شاخص‌های فرساینده گی استفاده می‌کنند. مرور منابع نشان می‌دهد که در مناطق مختلف جهان، تاکنون شاخص‌های متنوعی برای کمی‌سازی فرساینده گی باران بر مبنای خصوصیات مختلف آن توسعه داده شده‌اند که این شاخص‌ها بر اساس مقیاس منطقه، شرایط جغرافیایی، نوع اندازه‌گیری‌های تلفات خاک و همچنین

ویژگی‌های فیزیکی بارش، بسیار متنوع هستند (Renard & Freimund, 1994). باوجود تنوع فراوان شاخص‌های فرساینده گی، این شاخص‌ها را می‌توان در قالب دو گروه کلی تقسیم‌بندی کرد (Angima et al., 2010). دسته اول مربوط به شاخص‌هایی هستند که مبتنی بر انرژی باران بوده و از تلفیق انرژی جنبشی با شدت باران به‌دست می‌آیند. از معروف‌ترین شاخص‌هایی که در این گروه جای می‌گیرند می‌توان به شاخص EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1978)، شاخص AI_m (Lal, 1976)، شاخص $KE > I$ (Hudson, 1995) و شاخص p/\sqrt{t} (Onchev, 1985) اشاره نمود. در این شاخص‌ها به‌نوعی از شدت بارندگی و انرژی جنبشی استفاده شده است. در این‌بین، شاخص EI_{30} با توجه به اینکه به‌عنوان مبنای اصلی محاسبه فرساینده گی در مدل جهانی هدررفت خاک (USLE) است کاربرد بیشتری در سطح دنیا داشته و در مناطق مختلف ایران نیز مورد استفاده واقع شده است (Nikkami & Mahdian, 2015; Sadeghi et al., 2011). یکی از محدودیت‌های شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی، نیاز به در اختیار داشتن داده‌های بارندگی با فواصل زمانی کوتاه‌مدت و آمار طولانی‌مدت (بالتر از ۲۰ سال) است که از ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به باران‌نگار حاصل می‌شود (Wischmeier & Smith, 1978). چنین آماری در بیشتر نقاط دنیا به‌خصوص برای دوره‌های زمانی طولانی‌مدت وجود ندارد (Sadehghi & Tavangar, 2015; Panagos et al., 2015; Silva, 2004) و فرایند محاسبه آن‌ها نیز وقت‌گیر و دشوار است. بر این اساس دسته دیگری از شاخص‌ها که مبتنی بر داده‌ها و اطلاعات زودیافت بارش در منطقه بوده و به‌راحتی با استفاده از آمار روزانه بارش قابل محاسبه هستند، معرفی شده‌اند. این شاخص‌ها یا از طریق تحلیل منطقه‌ای تولید رسوب یا از طریق برقراری همبستگی و رابطه با شاخص EI_{30} در مناطق با محدودیت داده، به‌دست آمده‌اند (Silva, 2004). دو شاخص فورنیه $(\frac{P_i^2}{P})$ (Fournier, 1956) و فورنیه اصلاح‌شده $(\sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P})$ (Arnoldus, 1977) معروف‌ترین شاخص‌های گروه دوم هستند که در شاخص فورنیه، P_i برابر با متوسط بارندگی مربوط‌ترین ماه سال و P متوسط بارندگی سالانه است.

نیک‌کامی و مهدیان (Nikkami & Mahdian, 2015) برای تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در ایران، ۶۴ شاخص مختلف فرساینده‌گی را انتخاب و همبستگی آن‌ها با تلفات خاک را بررسی نمودند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده مناسب بودن شاخص EI_{30} در مقایسه با بقیه شاخص‌ها بود. آن‌ها شاخص EI_{30} را برای ایستگاه‌های دارای باران‌نگار محاسبه و اقدام به برقراری رابطه بین این شاخص و شاخص‌های زودیافت‌مانند فورنیه، فورنیه اصلاح‌شده، بارندگی متوسط سالانه، حداکثر بارندگی روزانه نمودند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده همبستگی قوی شاخص فورنیه اصلاح‌شده با شاخص EI_{30} بوده و در نتیجه، آن‌ها با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح‌شده و رابطه آن با EI_{30} ، مقدار شاخص EI_{30} را در ایستگاه‌های فاقد باران‌نگار محاسبه نموده و نقشه پهنه‌بندی فرساینده‌گی را با استفاده از روش اسپلاین برای کل ایران رسم نمودند.

زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2019) در پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌گی استان فارس نتیجه گرفتند مقدار شاخص فرساینده‌گی باران از شرق به غرب افزایش یافته به طوری که ۴۶ درصد از سطح استان دارای فرساینده‌گی کم و سه درصد دارای فرساینده‌گی زیاد بوده است.

شانچز-مورنو و همکاران (Sanchez-Moreno *et al.*, 2014) در مطالعه مشابه، رابطه بین EI_{30} سالانه و مقادیر بارش سالانه و شاخص فورنیه اصلاح‌شده در منطقه Cape Verde را استخراج نموده و از طریق آن اقدام به محاسبه EI_{30} در ایستگاه‌های فاقد باران‌نگار نمودند. پاناگوس و همکاران (Panagos *et al.*, 2015) با استفاده از آمار ۱۵۴۱ ایستگاه در کل اروپا اقدام به تهیه نقشه فرساینده‌گی بر اساس شاخص R مدل $RUSLE$ نمودند. نتایج آن‌ها بیانگر تغییرات قابل توجه R در دامنه کمتر از ۵۰۰ تا بیش از ۱۰۰۰ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت در سال ($\frac{MJ\ mm}{ha\ h\ y}$) است. آن‌ها دریافتند که متغیرهایی مانند بارش کل و بارش فصلی، در کنار مقادیر متوسط بارش در طول فصول خشک و مرطوب، و همچنین ارتفاع شاخص‌های مناسبی برای پیش‌بینی فرساینده‌گی باران هستند.

گو و همکاران (Gu *et al.*, 2020) در بررسی الگوی زمانی و مکانی فرساینده‌گی باران در فلات تبت نتیجه گرفتند که فرساینده‌گی باران به‌طور مشخصی از جنوب شرق به شمال

در شاخص فورنیه اصلاح‌شده نیز P_i مقدار بارش ماه i ام و P میزان کل بارش سالانه است.

محاسبه مقادیر شاخص‌های فرساینده‌گی در ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبدیل مقادیر نقطه‌ای این شاخص‌ها به نقشه‌های پیوسته، اولین گام در تهیه نقشه‌های پتانسیل فرسایش بوده و به‌عنوان ابزار اساسی در اولویت‌بندی تخصیص عملیات حفاظت خاک برای نقاط مختلف در یک منطقه جغرافیایی محسوب می‌شود. این نقشه‌ها با استفاده از شاخص‌های فرساینده‌گی گوناگون در کشورهای مختلف مانند آمریکا (Wischmeier & Smith, 1978)، فرانسه (Renard & Freimund, 1994)، ایتالیا (Hanel *et al.*, 2008)، جمهوری چک (Capolongo *et al.*, 2008)، (Krasa *et al.*, 2007, 2016) تهیه و مورد استفاده واقع شده است. در ایران نیز تلاش‌هایی برای تهیه نقشه‌های فرساینده‌گی مناسب با استفاده از شاخص‌های رایج صورت گرفته است. برای نمونه، حکیم‌خانی و حکیم‌خانی (Hakimkhani & Hakimkhani, 2011) در استان لرستان با استفاده از R (EI_{30}) در مدل $USLE$ به تهیه نقشه فرساینده‌گی باران پرداختند. آن‌ها به‌منظور برآورد این شاخص در مناطق فاقد داده‌های ایستگاه‌های باران‌نگار، رابطه رگرسیونی بین شاخص EI_{30} و شاخص‌های زودیافت را بررسی و مناسب‌ترین رابطه را بر مبنای متغیر شاخص فورنیه با ضریب تبیین ۰/۹۵۵ به دست آوردند.

در تحقیقی مشابه کاویان و همکاران (Kavian *et al.*, 2016) برای پهنه‌بندی فرساینده‌گی باران در استان کرمان از آمار ۱۷ ایستگاه مجهز به باران‌نگار برای محاسبه شاخص EI_{30} استفاده کردند. نتایج نشان داد که دامنه تغییرات این شاخص در استان کرمان در محدوده ۲۴/۹۱ تا ۲۱۳/۷۴ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت در سال ($\frac{MJ\ mm}{ha\ h\ y}$) بود. در نهایت، با استفاده از کریجینگ ساده نقشه پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌گی باران برای استان کرمان تهیه شد. نتایج نشان داد مقدار این شاخص در غرب و جنوب غربی استان دارای بیش‌ترین و در شرق، جنوب و شمال استان دارای کم‌ترین مقدار است. همچنین، بررسی ارتباط شاخص EI_{30} با شاخص‌های زودیافت فرساینده‌گی مانند فورنیه و فورنیه اصلاح‌شده نشان‌دهنده همبستگی مطلوب این دو دسته از شاخص‌ها در منطقه است.

در استان، ۳۲۵ میلی‌متر است که با توجه به متوسط بارندگی در سایر نقاط ایران که حدود ۲۸۰ میلی‌متر است در شرایط بهتری قرار گرفته است (Nazarnejad *et al.*, 2018).

انتخاب ایستگاه‌ها و جمع‌آوری آمار بارندگی:

به‌منظور تهیه نقشه فرساینده‌گی استان آذربایجان غربی از آمار و اطلاعات مربوط به ۱۳ ایستگاه دارای باران‌نگار با دوره آماری پنج سال (۲۰۱۵-۲۰۱۱) و ۶۶ ایستگاه باران-سنجی استفاده شد. اطلاعات مربوط به بارش روزانه این ایستگاه‌ها برای دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۱۲-۱۹۹۳) جمع‌آوری و برای محاسبه شاخص‌های مربوط به بارندگی از آن‌ها استفاده شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS ۲۳ بررسی شد. در شکل ۱ موقعیت استان آذربایجان غربی در کشور و همچنین محل قرارگیری ایستگاه‌های باران-سنجی و باران‌نگار مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل قرارگیری ایستگاه‌ها در استان آذربایجان غربی

Figure 1. Location of the study area and location of stations in West Azerbaijan province

عامل فرساینده‌گی باران R مبتنی بر EI_{30}

لازمه محاسبه شاخص EI_{30} ، وجود داده‌های باران‌نگار است. در این پژوهش برای محاسبه شاخص EI_{30} گراف‌های مربوط به تغییرات زمانی بارش به‌صورت اسکن شده وارد نرم‌افزار Weather Graph Analysis System (سامانه بازیافت داده از گراف‌های هواشناسی) شده و

غرب کاهش می‌یابد. همچنین، بیشتر تمرکز بارندگی در تابستان و پائیز است.

گوئسری و همکاران (Guesri *et al.*, 2020) در بررسی فرساینده‌گی باران و رسوب‌دهی یکی از حوضه‌های الجزایر بیان داشتند فرساینده‌گی باران عامل تعیین‌کننده رسوب‌دهی حوضه است که تأثیر آن در زمان‌های مختلف سال متفاوت بوده و دلیل آن را تغییر در شرایط خاک از جمله وجود پوشش گیاهی دانستند که خاک را در برابر فرساینده‌گی باران محافظت می‌کند.

استان آذربایجان غربی در شمال غرب ایران واقع شده است و با توجه به شرایط توپوگرافی و با در نظر گرفتن این که بخش زیادی از اراضی این استان تحت کشت محصولات دیم می‌باشند، فرسایش خاک و به‌ویژه فرسایش آبی از چالش‌های اصلی زیست‌محیطی در این استان محسوب می‌شود. شناسایی مقادیر بارندگی و توزیع فصلی و مکانی آن، همچنین تعیین شاخص فرساینده‌گی باران نقطه شروعی در شناسایی مناطق با پتانسیل بالای فرسایش به‌منظور برنامه‌ریزی‌های پیشگیری مدیریتی فرسایش خاک است (Kavian *et al.*, 2016). بنابراین در تحقیق حاضر تلاش شد تا با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌نگار استان، مقادیر EI_{30} برای ایستگاه‌های در دسترس محاسبه و سپس از طریق برقراری رابطه رگرسیونی، بین این شاخص و شاخص‌های فرساینده‌گی زودیافت، مقادیر شاخص EI_{30} به ایستگاه‌های فاقد باران‌نگار تعمیم داده شده و درنهایت، نقشه فرساینده‌گی جامع برای استان تهیه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان غربی در شمال غربی کشور قرار دارد و دارای ۱۷ شهرستان است. این استان با مساحتی حدود ۳۷۲۱۰ کیلومترمربع معادل ۲/۲۵ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است و در موقعیت جغرافیایی ۴۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاع از سطح دریا در این استان به ترتیب برابر ۵۸۰، ۳۶۲۵ و ۱۷۳۰ متر است. متوسط بارندگی سالیانه

F_t شاخص فورنیه کلی، p_i^2 مجذور متوسط حداکثر بارندگی ماهانه در طول دوره آماری و p نیز متوسط بارندگی سالانه (mm) است.

$$MF_a = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p} \quad (۴)$$

MF_a شاخص فورنیه اصلاح شده متوسط سالانه (mm)، P_i میزان بارندگی ماه \bar{a} ، و P میزان بارندگی سالانه (mm) است.

$$MF_t = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p} \quad (۵)$$

MF_t شاخص فورنیه اصلاح شده کلی (mm)، p_i متوسط بارندگی ماه \bar{a} (mm) در طول دوره آماری و P متوسط بارندگی سالانه (mm) است (Hadley et al., 1985).

در شاخص فورنیه اصلاح شده کلی (MF_t) مجذور متوسط بارندگی همراه در طول دوره آماری محاسبه شده و مجموع آن‌ها به متوسط بارندگی سالانه تقسیم می‌شود. در شاخص فورنیه اصلاح شده متوسط سالانه (MF_a) برای هر سال یک شاخص حساب شده، سپس میانگین آن‌ها گرفته می‌شود؛ به این صورت که مجذور بارندگی همراه در هر سال محاسبه شده و با تقسیم مجموع آن‌ها به بارندگی همان سال، مقدار شاخص فورنیه سال موردنظر به دست می‌آید. برای به دست آوردن شاخص متوسط ایستگاه، از مقادیر شاخص یادشده در طول دوره آماری میانگین گرفته می‌شود.

برآورد شاخص EI_{30} و تهیه نقشه فرساینده

به منظور برآورد شاخص EI_{30} در ایستگاه‌های باران‌سنجی، رابطه رگرسیونی بین این شاخص (متغیر وابسته) و شاخص‌های زودپافت (متغیر مستقل) ایجاد و بر اساس بهترین رابطه ایجاد شده، مقدار EI_{30} برای ایستگاه‌های فاقد باران‌نگار برآورد شد. در ادامه برای تبدیل مقادیر برآوردی نقطه‌ای مربوط به شاخص فرساینده باران (EI_{30}) به نقشه پهنه‌بندی، از روش درون‌یابی زمین‌آماری کریجینگ معمولی استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به محدودیت وجود ایستگاه‌های باران‌نگار با آمار مناسب، تنها ۱۳ ایستگاه با طول دوره آماری مشترک ۵ سال در استان آذربایجان غربی انتخاب شدند. نام این ایستگاه‌ها و شاخص EI_{30} و دیگر شاخص‌های زودپافت محاسبه شده برای این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده

داده‌های بارندگی با پایه زمانی ۱۰ دقیقه به صورت فایل اکسل استخراج شد. به این ترتیب شدت بارندگی با تداوم ۱۰ دقیقه با تقسیم مقدار بارندگی بر زمان بارندگی محاسبه شد. برای محاسبه شاخص EI_{30} یک رخداد، پس از تقسیم آن رخداد به بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای، ابتدا مقدار انرژی جنبشی واحد برای هر دوره (E_u ($MJha^{-1}mm^{-1}$)) با توجه به شدت آن دوره (I ($mm h^{-1}$)) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Van Dijk et al., 2002).

$$E_u = 0.119 + 0.0873 \log_{10}(I) \quad (۱)$$

سپس برای محاسبه انرژی جنبشی آن دوره ($MJha^{-1}$)، انرژی جنبشی واحد دوره ($MJha^{-1}mm^{-1}$) در مقدار بارندگی آن دوره (mm) ضرب شد، و با جمع انرژی جنبشی در تمام دوره‌ها، انرژی جنبشی کل رخداد ($MJha^{-1}$) به دست آمد. از حاصل ضرب حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای (mmh^{-1}) یک رخداد (I_{30}) در انرژی جنبشی کل آن، مقدار شاخص EI_{30} ($MJha^{-1}mm h^{-1}$) برای هر رخداد محاسبه شد. در ادامه ضریب شاخص فرساینده (EI_{30}) سالانه ($MJha^{-1}mm h^{-1}year^{-1}$) برای هر ایستگاه (مجموعاً ۱۳ ایستگاه) در هر سال از حاصل جمع EI_{30} مربوط به رخدادهای یک سال آن ایستگاه به دست آمد.

محاسبه شاخص‌های زودپافت

در این تحقیق تعدادی از مهم‌ترین شاخص‌های زودپافت برای ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار شامل شاخص‌های فورنیه متوسط سالانه (F_a)، شاخص فورنیه کلی (F_t)، شاخص فورنیه اصلاح شده متوسط سالانه (MF_a)، شاخص فورنیه اصلاح شده کلی (MF_t) و بارندگی متوسط سالانه (P) استفاده شده است (Shamshad et al., 2008).

شاخص فورنیه و فورنیه اصلاح شده از معروف‌ترین شاخص‌هایی است که همبستگی بالای آن‌ها با شاخص EI_{30} در تحقیقات زیادی از جمله انچف (Onchev, 1984) به اثبات رسیده است.

$$F_a = \frac{p_i^2}{p} \quad (۲)$$

F_a شاخص فورنیه متوسط سالانه (mm)، p_i^2 مجذور حداکثر بارندگی ماهانه هر سال و P نیز میزان کل بارندگی سالانه (mm) است.

$$F_t = \frac{p_i^2}{p} \quad (۳)$$

مقدار شاخص فورنیه متوسط سالانه (F_a) به ترتیب با ۵۳/۴۹ و ۱۵/۳۷ میلی‌متر مربوط به ایستگاه‌های سردشت و قره‌ضیاء‌الدین است، درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص فورنیه کلی (F_t) به ترتیب با ۵۴/۷۷ و ۱۵/۴۵ میلی‌متر مربوط به ایستگاه‌های سردشت و تکاب است. نتایج بررسی شاخص فورنیه اصلاح‌شده متوسط سالانه (MF_a) بیانگر آن است که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب با ۱۳۸/۲۳ و ۳۷/۹۶ میلی‌متر مربوط به ایستگاه‌های سردشت و سلماس است. نتایج شاخص فورنیه اصلاح‌شده کلی (MF_t) نیز نشان می‌دهد بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب با ۱۱۳/۴۶ و ۲۸/۷۵ میلی‌متر مربوط به ایستگاه‌های سردشت و سلماس است.

است. با توجه به مقادیر ارائه‌شده در جدول ۱ و آمار توصیفی مربوط به متغیرهای مورد‌محاسبه، مشاهده می‌شود که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بارش سالانه به ترتیب با ۸۲۰/۹۶ و ۲۶۳/۶۴ میلی‌متر مربوط به ایستگاه‌های سردشت و سلماس است. از سوی دیگر ضریب تغییرات نسبتاً بالای بارندگی (۴۰/۳۴٪) نشان‌دهنده تنوع و غیریکنواختی بالای بارش در ایستگاه‌های استان است. همچنین حداکثر مقدار شاخص EI_{30} با مقدار ۳۱۲/۹۵ ($MJha^{-1}mm h^{-1}$) مربوط به ایستگاه سردشت و کم‌ترین مقدار آن مربوط به ایستگاه خوی با مقدار ۷۱/۱۷ ($MJha^{-1}mm h^{-1}$) است. مقدار شاخص EI_{30} در مقایسه با مقدار بارش دارای تغییرات بیشتری در بین ایستگاه‌ها است به‌طوری‌که ضریب تغییرات آن برابر با ۴۸/۸۳٪ است. بیش‌ترین و کم‌ترین

جدول ۱- میانگین شاخص‌های فرساینده‌ی باران در ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار
Table 1. Mean Rain erosivity indices in stations equipped with rain Recorder

Stations	Variable					
	P (mm)	EI_{30} ($MJha^{-1}mm h^{-1}$ year-1)	F_a (mm)	F_t (mm)	MF_a (mm)	MF_t (mm)
Maku	349.37	159.94	18.57	18.15	46.26	36.74
Khoy	309.74	71.17	19.07	18.75	44.41	33.62
Urmia	310.97	138.33	27.57	25.65	54.24	38.77
Salmas	263.64	100.84	15.99	15.64	37.96	28.75
Piranshahr	679.52	206.76	44.82	35.34	114.15	88.15
Sardasht	820.96	312.95	53.49	54.77	138.23	113.46
Mahabad	372.25	132.54	24.79	24.25	57.94	47.35
Tekab	318.18	93.25	15.59	15.45	47.34	39.25
Naghadeh	350.59	148.09	28.54	26.69	59.97	44.42
GhareZiaeddin	319.35	88.71	15.37	15.52	44.24	37.52
Chalderan	444.32	111.57	23.71	21.79	59.89	49.76
Bukan	362.53	83.20	19.73	19.51	56.44	46.21
Kahriz	333.33	96.36	34.38	32.84	59.10	39.18
Average	402.67	134.13	26.28	24.95	63.09	49.48
Maximum	820.96	312.95	53.49	54.77	138.23	113.46
Minimum	263.64	71.17	15.37	15.45	37.96	28.75
CV (%)	40.34	48.83	44.74	44.10	46.45	48.61

بین شاخص EI_{30} با شاخص‌های زودیافت بارش بود، رابطه بین این متغیر و شاخص‌های زودیافت فرساینده‌ی در شکل ۲ ارائه شده است.

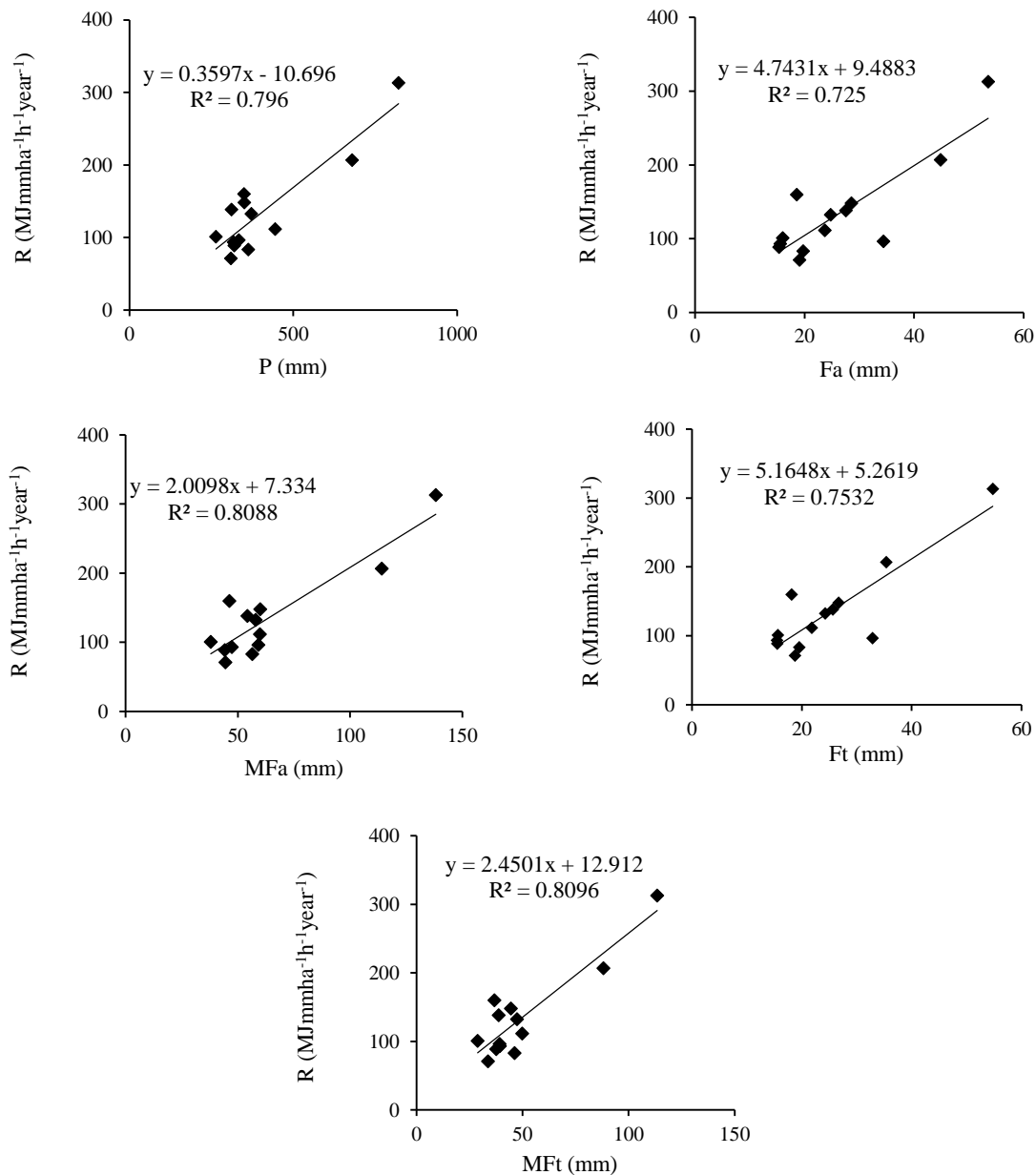
در ادامه به منظور بررسی همبستگی بین شاخص‌های فرساینده‌ی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده و ماتریس همبستگی متغیرها ترسیم شد (جدول ۲). همچنین با توجه به هدف پژوهش که برقراری ارتباط

جدول ۲- ماتریس همبستگی شاخص‌های مورد بررسی

Table 2. Correlation matrix of studied indices

Index	EI ₃₀	P	F _a	MF _a	F _t	MF _t
R index	1	-	-	-	-	-
P	0.89**	1	-	-	-	-
F _a	0.85**	0.88**	1	-	-	-
MF _a	0.89**	0.98**	0.94**	1	-	-
F _t	0.86**	0.86**	0.97**	0.92**	1	-
MF _t	0.90**	0.99**	0.89**	0.99**	0.88**	1

** و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد

شکل ۲- روابط خط برازش داده‌شده بین شاخص EI₃₀ با سایر شاخص‌هاFigure 2. Fit line relationships between the EI₃₀ index and other indices

برآورد EI_{30} کرده‌اند. همبستگی داخلی بین شاخص‌ها بالا است که تأثیرپذیری آن‌ها نسبت به هم را نشان می‌دهد. مهم‌ترین دلیل همبستگی بالای بین شاخص EI_{30} و دیگر شاخص‌ها لحاظ شدن بارندگی در آن‌ها است.

با توجه به همبستگی بالای شاخص MF_t با شاخص EI_{30} و روابط خطی برازش داده‌شده بین این دو شاخص در شکل ۲، رابطه ۶ برای محاسبه شاخص فرساینده‌گی (EI_{30}) در ایستگاه‌های فاقد باران‌نگار برای دوره آماری ۲۰ سال مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر محاسبه‌شده در جدول (۳) ارائه شده است.

$$EI_{30}=2.4501MF_t+12.912 \quad (6)$$

طبق جدول ۲، شاخص EI_{30} بیش‌ترین همبستگی را با شاخص MF_t ($R^2=0.81$) دارد و شاخص‌های F_t , P , MF_a و F_a به ترتیب با ضرایب همبستگی 0.899 ، 0.892 ، 0.86 و 0.85 در رده‌های بعدی قرار دارند. همبستگی بالای شاخص فورنیه اصلاح‌شده با EI_{30} در بسیاری از مطالعات انجام‌شده در دنیا و ایران نظیر (Hussein, 1986؛ Renard & Hudson, 1995؛ Ferro et al., 1991؛ Aronica & Ferro, 1997؛ Yu, 1998؛ Freimund, 1994؛ Hakimkhani & Hakimkhani, Sepaskhah, 1994؛ Nikkami & Khorsandi et al., 2011؛ Mahdian, 2014) به اثبات رسیده است که با برقراری رابطه‌ای بین EI_{30} و شاخص فورنیه اصلاح‌شده اقدام به

جدول ۳- مقادیر برآورد شده شاخص EI_{30} ایستگاه‌های باران‌سنجی

Table 3. Estimated EI_{30} values of rain gauge stations

Station	EI_{30}	Station	EI_{30}	Station	EI_{30}
Poldasht	63.64	Chaparabad	133.77	Tamer	81.78
DrabkaiKhaneh	180.86	Naghadeh	106.92	Ghalehjugh	100.43
Zangabad	172.50	Pole Bahramlou	89.65	Musagholi	62.54
Dashband	120.38	GerdeYaghub	95.40	Pole Navari	78.45
PoleSorkh	118.66	Aghbolagh	140.16	Evoghli	70.09
Peiqhaleh	146.96	Dizaj	109.54	GhareZiaeddin	83.38
Tapik	97.87	Gachi	87.04	Badlan	113.73
Camp Urmia	121.15	Mushabad	85.09	Malhezan	67.84
Razi	98.52	Kalhor	108.47	Safukandi	96.99
Ghasemlou	116.33	Chublechek	95.67	ZaviekSheikh	84.51
Barisu	230.05	ManuchehrSanjagh	105.87	Siahcheshmeh	99.89
Pol yazdekan	90.82	Saaindejh	102.92	Khoy	86.49
Dashkhaneh	100.85	Ghezelghabr	106.7	Mazraeh	101.22
Gharvololia	88.72	Nazamabad	92.26	Gharebagh	108.03
Marz Serow	124.81	Kotar	127.00	Mehmandar	119.61
Piehjik	117.21	Dorieh	126.15	Chahrigholia	109.63
Yalghuzaghach	67.93	Masu	121.40	Afan	185.43
Alasaghal	127.29	Gerdkashan	130.04	Baghchemisheh	119.85
Behlulabad	80.03	Yuneslou	110.51	Babaroud	113.42
Baron	98.58	Salmas	85.58	Rahimkhan	88.26
Halhalsofla	96.01	Nazarabad	110.92	Sarighamish	128.39
Bitas	138.13	Urian	107.24	Abajalusofla	100.69

با بیش‌ترین مقدار شاخص EI_{30} در قسمت‌های جنوب غربی استان نشان‌دهنده میزان بالای شاخص فرساینده‌گی در این مناطق می‌باشند. کم‌ترین مقدار این شاخص ($62/54$) مربوط به ایستگاه موسی‌قلی در قسمت شمال شرق استان است.

بر اساس محاسبات صورت گرفته، مقادیر شاخص EI_{30} در دامنه $62/54$ تا $230/05$ ($MJha^{-1}mm h^{-1}$) متغیر است که با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق نیک‌کامی و مهدیان (Nikkami & Mahdian, 2014) که برای کل کشور انجام داده بودند مطابقت دارد. همچنین ایستگاه بريسو و آفان

نسبت اثر قطعه‌ای نیم‌تغییرنما به آستانه کمتر از ۲۵ درصد باشد، پیوستگی مکانی بسیار قوی خواهد بود، پیوستگی مکانی در شرایطی که این نسبت در دامنه ۷۵-۲۵ درصد باشد، متوسط بوده و زمانی که این نسبت از ۷۵ درصد بزرگ‌تر شود، پیوستگی مکانی ضعیف خواهد بود (Cambardella *et al.*, 1994). کاویان و همکاران (Kavian *et al.*, 2016) نیز روش کریجینگ معمولی را به دلیل خطای کمتر برای پهنه‌بندی شاخص فرسایندهی در استان کرمان مورد استفاده قرار داده‌اند.

در ادامه برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای شاخص فرسایندهی (R) به اطلاعات ناحیه‌ای و به‌منظور بررسی الگوی مکانی شاخص فرسایندهی، پهنه‌بندی این شاخص با روش کریجینگ معمولی انجام شد. پس از بررسی داده‌ها مشخص شد که مدل نیم‌تغییرنمای کروی مناسب‌ترین مدل برازش داده‌شده است (شکل ۳) و مشخصات آن در جدول ۵ ارائه شده است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه (۳/۰۷٪) نشان داد که شاخص فرسایندهی به‌عنوان متغیر مکانی، دارای پیوستگی مکانی بسیار مطلوبی است. به‌عنوان یک قانون کلی زمانی که

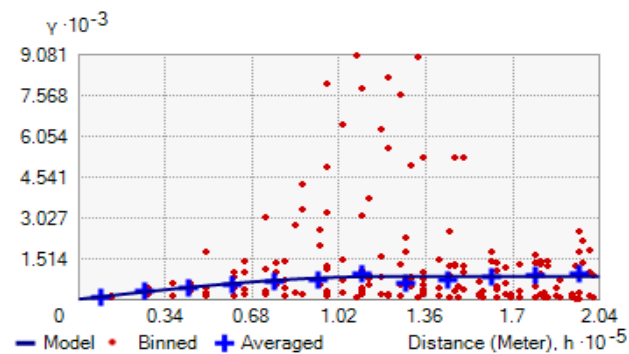
جدول ۴- نتایج کارایی نقشه تولیدی و پارامترهای مدل نیم‌تغییرنمای برازش داده‌شده

Table 4. results of generated map performance and fitted semi-variable model parameters

Index	† Semi-variable parameters				Performance coefficients of maps		
	model	C_0	C_0+C	A (km)	$C_0/(C_0+C)$ (%)	r^2	MAE ††
EI ₃₀	Spherical	25.01	813.42	107.13	3.07	0.76	14.36

C_0 ، اثر قطعه‌ای؛ (C_0+C)، آستانه؛ A، شعاع تأثیر؛ $C_0/(C_0+C)$ ، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه (%).

†† واحد میانگین قدر مطلق خطا برای شاخص R و آن مگازول-میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال است.

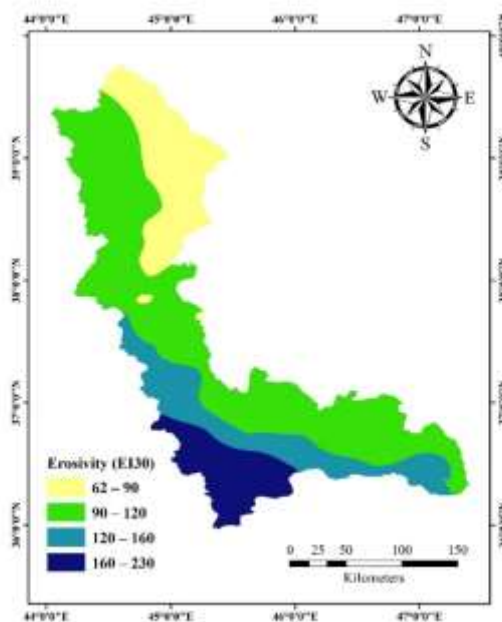


شکل ۳. مدل واریوگرام برازش داده‌شده برای شاخص R

Figure 3. Fitted variogram model for R index

است. به‌طور کلی الگوی مکانی شاخص فرسایندهی نشان داد که مقادیر این شاخص در مناطق جنوب غربی و غرب استان بیشتر بوده و با حرکت در جهت شمال و شرق به‌طور منظم کاهش می‌یابد. در پژوهش نیک‌کامی و مهدیان (Nikkami & Mahdian, 2014) که منجر به تهیه نقشه فرسایندهی برای کل کشور شده است نیز روند تقریباً مشابهی برای استان آذربایجان غربی مشاهده می‌شود.

نقشه پهنه‌بندی شاخص فرسایندهی استان آذربایجان غربی (شکل ۴) نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از مساحت استان (۱۹۸۱۲ کیلومترمربع) دارای مقادیر فرسایندهی در محدوده ۹۰ تا ۱۲۰، حدود ۶۲۴۷ کیلومترمربع از سطح استان دارای مقادیر فرسایندهی ۱۲۰ تا ۱۶۰، ۶۶۸۸ کیلومترمربع دارای مقادیر کمتر از ۹۰ و تنها ۴۴۶۱ کیلومترمربع (۱۲٪) از سطح استان دارای مقادیر فرسایندهی بالای ۱۶۰ ($\text{MJha}^{-1}\text{mm h}^{-1}$)



شکل ۴. توزیع مکانی مقادیر کمی مربوط به شاخص فرساینده‌گی R در دوره آماری ۲۰ سال
Figure 4. Spatial distribution of quantitative values of R erosivity index in the period of 20 years

نتیجه‌گیری کلی

هدف این تحقیق تهیه نقشه فرساینده‌گی باران با استفاده از آمار بارندگی‌های لحظه‌ای در ایستگاه‌های ثبات و برقراری رابطه همبستگی بین آمار زودیافت بارندگی و شاخص EI_{30} به منظور تهیه نقشه فرساینده‌گی در منطقه فاقد داده‌های باران‌نگار در استان آذربایجان غربی بود. شاخص EI_{30} به عنوان یکی از شاخص‌های بسیار پر کاربرد فرساینده‌گی محسوب شده و در معادلات ویشمایر و اسمیت (Wischmeier & Smith, 1978)، اگدنجه و همکاران (Ogedengbe *et al.*, 2008) و یوفگبونه و همکاران (Ufoegbune *et al.*, 2011) نیز مورد استفاده واقع شده است. نتایج نشان داد که شاخص فورنیه اصلاح شده کلی (MF_t)، بیش‌ترین همبستگی را با EI_{30} داشته ($r = 0.899$, $p < 0.01$)، لذا می‌توان در مطالعات آینده و در مناطق دیگر با برقراری رابطه‌ای بین این دو شاخص، EI_{30} را برای مناطق فاقد آمار شدت بارندگی برآورد نمود. با پهنه‌بندی نقشه فرساینده‌گی باران برای ایستگاه‌های باران‌سنجی مشخص شد که این شاخص در نواحی جنوب و جنوب غربی استان، در ارتفاعات واقع در شهرستان‌های سردشت، پیرانشهر و بوکان دارای بیش‌ترین مقدار است. بخش‌هایی از شمال شرق و شرق

استان از جمله شهرستان پلدشت دارای کمترین مقدار فرساینده‌گی بودند. مقادیر فرساینده‌گی مناطق یاد شده با تغییرات میزان بارندگی همخوانی دارد، به طوری که مناطق با بارندگی زیاد و کم به ترتیب دارای فرساینده‌گی زیاد و کم هستند. با توجه به محدود بودن دوره آماری مورد استفاده در محاسبه EI_{30} در این پژوهش، و در نظر گرفتن این واقعیت که محاسبه دقیق شاخص فرساینده‌گی به آمارهای پیوسته و طولانی‌مدت باران‌نگارهای ثبات احتیاج دارد پیشنهاد می‌شود در آینده با جمع‌آوری آمارهای طولانی‌مدت و دقیق‌تر اقدام به ارائه اصلاحیه‌های بعدی در روابط ارائه شده گردد. توصیه می‌شود تا امکان اندازه‌گیری سایر پارامترهای بارندگی از قبیل قطر و سرعت سقوط ذرات نیز فراهم شود تا به این طریق بتوان علاوه بر شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر شدت و مقدار بارندگی، شاخص‌های مبتنی بر قطر و سرعت سقوط ذرات را نیز مورد مطالعه قرار داد. با در نظر گرفتن نقشه هم‌فرسای تولید شده در این پژوهش می‌توان در خصوص شیوه اجرای عملیات حفاظت خاک قضاوت صحیح‌تری نمود. از کاربردهای شاخص‌های فرساینده‌گی و نقشه‌های حاصل می‌توان به دو مورد اصلی یعنی کمک به برنامه‌ریزی، ارائه و اجرای طرح‌های مناسب حفاظت خاک

برای مثال، با تهیه نقشه توان فرسایشی و با تلفیق آن با نقشه‌های درصد و تراکم پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاعات می‌توان نقاط با توان فرساینده‌گی بالا را تعیین و نسبت به اقدامات اضطراری حفاظتی در آن‌ها در قالب طرح‌های آبخیزداری اقدام کرد.

و کمک به تحقیقات از طریق افزایش آگاهی از مناطق با خطر فرسایش و رسوب زایی بالا اشاره کرد (Mikhailova et al., 1997; Yu & Rosewell, 1996). این نقشه‌ها منبع مهمی از اطلاعات است که به آبخیزداران و کارشناسان کشاورزی برای ارائه طرح‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش و مدیریت اراضی کمک شایانی می‌کند.

References

- Ahmadi H., Javadi M.R., and Salavati A. 2015. Zonation of rainfall erosivity strength; using Fournier method and some interpolation techniques (a case study of Ghazvin province). *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 5(2):1-14. (In Persian)
- Angima S.D., Stott D.E., O'neill M.K., Ong C.K., and Weesies G.A. 2003. Soil erosion predicting using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems and environment*, 97(1-3): 295-308.
- Arnoldus H.M.J. 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin*, 34: 39-51.
- Arnoldus H.M.J. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation*, 127-132.
- Aronica G., and Ferro V. 1997. Rainfall erosivity over the Calabrian region. *Hydrological sciences Journal*, 42(1): 35-48.
- Auzet A.V., Boiffin J., and Ludwig B. 1995. Concentrated flow erosion in cultivated catchments: influence of soil surface state. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20(8): 759-767.
- Brunner A.C., Park S.J., Ruecker G.R., Dikau R., and Vlek P.L.G. 2004. Catenary soil development influencing erosion susceptibility along a hillslope in Uganda. *Catena*, 58(1): 1-22.
- Cambardella C.A., Moorman T.B., Parkin T.B., Karlen D.L., Novak J.M., Turco R.F., and Konopka A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America journal*, 58(5):1501-1511.
- Capolongo D., Diodato N., Mannaerts C., Piccarreta M., and Strobl R.O. 2008. Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). *Journal of Hydrology*, 356(1-2): 119-130.
- Ferro V., Giordano G., and Iovino M. 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrological Sciences Journal*, 36(6): 549-564.
- Fournier F. 1956. The effect of climatic factors on soil erosion: Estimates of solids transported in suspension in runoff. *International Association of Hydrological Sciences*, Public 38.
- Ghahremannejad E., Nazarenejad H., and Miryaghubzadeh M.H. 2018. Effect of different land- use management scenarios on soil erosion using USLE model in KalaybarChay watershed. *Journal of water and soil resources conservation*, 7(2): 91-104. (In Persian)
- Gu Z., Feng D., Duan X., Gong K., Li Y., and Yue T. 2020. Spatial and Temporal Patterns of Rainfall Erosivity in the Tibetan Plateau. *Water*, 12, 200.
- Guesri M., Megnounif A., and Nekkache Ghenim A. 2020. Rainfall erosivity and sediment yield in Northeast Algeria: K'sob watershed case study. *Arabian Journal of Geosciences*, 13:1-11.
- Hadley R.F., Lal R., Onstand C.A., Walling D.E., and Yair A. 1985. Recent developments in erosion and sediment yield studies. Paris. *International Hydrological Programme*, UNESCO.
- Hakimkhani Sh., and Hakimkhani I. 2011. Rainfall erosivity mapping for Lorestan province. *Watershed Management Research Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 89: 62-72. (In Persian)
- Hanel M., Máca P., Basta P., Vlnas R., and Pech P. 2016. The rainfall erosivity factor in the Czech Republic and its uncertainty. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(10): 4307-4322.
- Hudson N. 1995. Soil Conservation (3rd Edition). *Iowa State University Press*, 391p.
- Hussein M.H. 1986. Rainfall erosivity in Iraq. *Journal of soil and water conservation*, 41(5): 336-338.
- Kavian A., Jafarian Z., Jahanshahi A., and Golshan M. 2016. Rainfall Erosivity Mapping in Kerman Province based on Geostatistical Methods. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(1): 51-68. (In Persian)

- Khorsandi N., Mahdian M.H., Pazira E., and Nikkami D. 2011. Determination of Suitable Rainfall Erosivity Indices for Semi-Arid and Very Humid Climates of Khazar Watershed. *Journal of Water and Soil Sciences*, 15(56) :117-126. (In Persian)
- Krasa J., Dostal T., and Vrana K. 2007. Rain erosivity distribution in the Czech Republic. In *Geophysical Research Abstracts*, 9: 05270, European Geosciences Union.
- Lal R. 1976. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria: III. Effects of rainfall characteristics. *Geoderma*, 16(5): 389-401.
- Lal R., and Elliot W. 1994. Erodibility and erosivity. In: Lal, R. (ed.), *Soil erosion research methods* (Second edition), *Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, 181-208.
- Mikhailova E.A., Bryant R.B., Schwager S.J., and Smith S.D. 1997. Predicting rainfall erosivity in Honduras. *Soil Science Society of America Journal*, 61(1): 273-279.
- Morgan R.P.C. 1995. *Soil Erosion and Conservation*. Addison Wesley, London: 198 p.
- Morgan R.P.C. 2005. *Soil Erosion and Conservation* (3rd edition). Blackwell Publishing, 304 p.
- Nazarnejad H., Shahhosein T., and Asadzadeh F. 2018. Spatiotemporal Variation of the Rainfall Erosivity in West Azerbaijan Province. *Geography and sustainability of environment*, 27:89-99 (In Persian)
- Nikkami D., and Mahdian M.H. 2015. Rainfall erosivity mapping in Iran. *Watershed Engineering and Management*, 6(4):364-376. (In Persian)
- Ogedengbe K., Adesina A.O., and Alabi R.T. 2008. Estimation of the R-factor of universal soil loss equation using monthly rainfall amount for Nigeria. *Journal of World association of Soil and Water Conservation*, 3: 20-26.
- Onchev N.G. 1984. Universal index for calculating rainfall erosivity in soil erosion and conservation (Sofia, Bulgaria). *Soil Science and Agrochemical*, 9(2): 424-431.
- Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klik A., Rousseva S., Tadic M.P., Michaelides S., Hrabalíková M., Olsen P., Atalío J., Lakatos M., Rymaszewicz A., Dumitrescu A., Begueria S., and Alewell C. 2015. *Rainfall erosivity in Europe*. *Science of the Total Environment*, 511: 801-814.
- Renard K.G., and Freimund J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157: 287-306.
- Sadeghi S.H.R., Moatamednia M., and Behzadfar M. 2011. Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13:451-64. (In Persian)
- Sadeghi S.H., and Tavangar S. 2015. Development of stationnal models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. *Natural Hazards*, 77(1): 429-443.
- Salles C., and Poese J. 2000. Rain properties controlling soil splash detachment. *Hydrological Processes*, 14(2): 271-282.
- Sanchez-Moreno J.F., Mannaerts C.M., and Jetten V. 2014. Rainfall erosivity mapping for Santiago Island, Cape Verde. *Geoderma*, 217-218, 74-82.
- Sepaskhah A.R. 1994. Estimation of rain erosivity indices in Iran. *4th Iranian Soil Science Congress*, Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Persian)
- Shamshad A., Azhari M.N., Isa M.A., Hussin W.W., and Parida B.P. 2008. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI₃₀ index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena*, 72(3): 423-432.
- Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57(3): 251-259.
- Ufoegbune G.C., Bello N.J., Ojekunle Z.O., Orunkoye A.R., Eruola A.O., and Amori A.A. 2011. Rainfall erosivity pattern of Ogun River basin area (Nigeria) using modified Fournier index. *European Water*, 35, 23-29.
- Van Dijk A.I.J.M., Bruijnzeel L.A., and Rosewell C.J. 2002. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *Journal of Hydrology*, 261(1-4), 1-23.
- Wischmeier W.H., and Smith D.D. 1978. *Predicting rainfall losses: a guide to conservation planning*. *Agriculture Handbook*, No.537, US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Yu B. 1998. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics. *Soil Research*, 36(1): 143-166.
- Yu B., and Rosewell C.J. 1996. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales. *Soil Research*, 34(1), 139-152.
- Zare S., Soltani Gerdefaramarzi S., and Tazeh M. 2019. Comparison of geostatistical methods in the zoning of erosivity index (Case study: Fars province). *Geography & Programming*, 23(68): 157.177. (In Persian)

Rainfall Erosivity Mapping for West Azerbaijan Province

Tara Shahhossein¹, Habib Nazarnejad^{2*}, Farrokh Asadzadeh³

(Received: January 2021 Accepted: April 2021)

Abstract

So far, various indices have been proposed for rainfall erosivity, among which (EI_{30}) R in the USLE model is more acceptable. The aim of this study was to determine the rain erosivity index (EI_{30}) in West Azerbaijan province. In order to estimate the mentioned index, regression analysis between this index and some premature indices was used in 13 stations equipped with rain gauge. The EI_{30} index has the highest correlation with the overall corrected Fournier index ($R^2 = 0.9$). Then, the EI_{30} index was calculated for 66 paranormal stations with a common statistical period of 20 years (1993-2012). The results showed that the changes in the EI_{30} index in the province are very high and are in the range of 62.54-230.05 mega Joule millimeters per hectare per hour per year. The highest erosivity was observed in the southwest of the province and the lowest in the northern and eastern regions of the province.

Keywords: EI_{30} Index; Fournier index; Rainfall Kinetic energy; Rain erosivity

Shahhossein T., Nazarnejad H., and Asadzadeh F. 2022. Rainfall erosivity mapping for West Azerbaijan province. *Applied Soil Research*, 9(4): 49-61.

1 Former MSc student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University

2 Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University

3 Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University

* Corresponding Author Email: h.nazarnejad@urmia.ac.ir