

ارزیابی تغییرات زمانی مکانی شاخص فرساینده‌گی باران با استفاده از روش کوکریجینگ در استان خوزستان حسین اسلامی*

۱- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

eslamyho@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴

چکیده

فرساینده‌گی باران توانایی باران برای جداسازی ذرات خاک است و همبستگی بالایی با فرسایش خاک دارد. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات مکانی زمانی فرساینده‌گی باران با استفاده از شاخص EI_{30} است. در این تحقیق شاخص EI_{30} برای ماهها و فصول مختلف در ۹ ایستگاه باران نگاری استان خوزستان محاسبه گردید. سپس با استفاده از روابط رگرسیونی بین شاخص EI_{30} و سایر شاخص ها و خصوصیات سهل الوصول بارندگی در ایستگاه های باران نگاری، مقادیر شاخص EI_{30} برای ۶۵ ایستگاه باران سنجی برآورد گردید. به منظور تهیه نقشه فرساینده‌گی باران ماهانه و فصلی، اطلاعات نقطه ای شاخص EI_{30} در ۷۴ ایستگاه باران نگاری و باران سنجی با استفاده از روش زمین آماری کوکریجینگ میان یابی گردید. بر اساس نقشه های تهیه شده بیشترین مقادیر فرساینده‌گی باران ماهانه و فصلی در شرق و شمال خوزستان و کمترین مقادیر فرساینده‌گی در جنوب و غرب استان خوزستان وجود دارد. بطور متوسط بیشترین شاخص فرساینده‌گی باران ماهانه در ماه آذر با مقدار ۲۹۲ مگاژول میلی متر بر هکتار در ساعت و بیشترین مقدار شاخص فرساینده‌گی باران فصلی در فصل زمستان با مقدار ۵۷۶ مگاژول میلی متر بر هکتار در ساعت اتفاق می افتد و مقدار این شاخص برای تابستان صفر است.

کلمات کلیدی: فرساینده‌گی باران، میان یابی، خوزستان، شاخص EI_{30}

مقدمه

۳۰ دقیقه (I_{30}) همبستگی بالایی دارند، که هر دو از داده های ویشمایر و اسمیت (۲۳) و ویشمایر (۲۴) بدست آمده است. مفهوم فرساینده‌گی باران بعدا توسط هادسون (۱۴) و ویشمایر و اسمیت (۲۵) توسعه یافت که فرسایش را به عنوان میانگین مجموع سالانه EI_{30} رگبارها توصیف کرد. فرساینده‌گی باران

فرسایش خاک یک مشکل زیست محیطی جهانی است که منجر به تخریب زمین، رسوبگذاری در مخازن و یوتریفیکاسیون آبها می شود (۱۹). مکانیسم های تشکیل و فرایندهای متوالی فرسایش خاک تحت تأثیر فرساینده‌گی باران قرار می گیرد که با حاصلضرب (EI) کل انرژی رگبار (E) و حداکثر شدت

عامل اساسی در معادله جهانی فرسایش خاک^۱ (۲۵) و معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک^۲ (۲۱) است. علاوه بر این، بسیاری از روش های پیش بینی تجربی فرسایش خاک نیز از فرسایندهای باران استفاده می کنند (۱۵ و ۱۸). اگرچه شاخص EI_{30} در سراسر جهان پذیرفته شده است، اما محاسبه آن به داده های توپوگرافی برای بارندگی نیاز دارد. بنابراین استفاده از شاخص EI_{30} با فقدان داده های بارندگی با وضوح زمانی بالا محدود شده است.

فرسایندهای باران را می توان از دو روش اندازه گیری مستقیم و استفاده از شاخص ها تعیین نمود (۱۶). شاخص های فرسایندهای باران را می توان در قالب دو گروه شاخص های مبتنی بر انرژی جنبشی یا شدت بارندگی و شاخص های مبتنی بر آمار سهل الوصول بارندگی تقسیم کرد (۳). در دسته اول به شکلی از شدت بارندگی یا انرژی جنبشی یا هر دوی آنها در ارزیابی شاخص فرسایندهای استفاده می شود. شاخص EI_{30} (۲۵) از این دسته است. این دسته از شاخص ها نیاز به آمار طولانی مدت شدت بارندگی و ایستگاههای مجهز به باران نگار دارند و معمولاً بیشتر ایستگاهها چنین شرایطی ندارند. از این رو محققین با استفاده از آمار سهل الوصول بارندگی که به سادگی در ایستگاه های باران سنجی قابل تهیه هستند، شاخص های ساده تری ارزیابی کرده اند. از شاخص های این گروه می توان به شاخص فورنیه و شاخص فورنیه اصلاح شده (۸) اشاره نمود.

ناهمگونی مکانی فرسایش خاک بسیار زیاد است و دارای ویژگی های مقیاس چندگانه است. این بستگی به تنوع و پیچیدگی عوامل موثر بر فرسایش خاک دارد. فرسایندهای باران یکی از عوامل اساسی موثر در فرسایش خاک است (۱۳). با این حال، در طول سال به طور یکنواخت توزیع نمی شود و در مقیاس منطقه

ای، آگاهی از توزیع فصلی و حتی ماهانه فرسایندهای باران برای دقت محاسبات فرسایش خاک بسیار مهم است (۲۱ و ۱۷). بنابراین توزیع مکانی و زمانی فرسایندهای باران مربوط به کشورها و مناطق مختلف است (۱۸، ۹، ۲۰ و ۲۶). تنوع مکانی در فرسایندهای باران در استان خوزستان نسبتاً زیاد است و بدلیل تغییرات اقلیمی و توپوگرافی قابل توجه است. با محاسبه شاخص فرسایندهای باران به صورت نقطه ای و تبدیل این داده ها به اطلاعات ناحیه ای با استفاده از روشهای میان یابی می توان نقشه فرسایندهای باران تهیه نمود. وجود نقشه های فرسایندهای باران و اطلاع از تغییرات زمانی و مکانی آن منجر به برنامه ریزی، سیاست گذاری و اتخاذ تصمیمات صحیح کنترل و مهار فرسایش خاک می گردد. محققین مختلف جنبه های مختلف فرسایندهای باران را مورد بررسی و پژوهش قرار داده اند.

مصطفی زاده و همکاران تغییرات زمانی و مکانی خطر عامل فرسایندهای باران در شمال شرق ایران در ۴۱ ایستگاه باران سنجی با طول دوره آماری مشترک ۳۳ ساله در حوزه آبخیز گرگانرود را بررسی نمودند. در این تحقیق از روش معکوس فاصله وزنی برای میان یابی و تهیه نقشه های فرسایندهای باران استفاده شد. براساس نتایج، مقدار میانگین عامل فرسایندهای باران سالانه در حوزه آبخیز گرگانرود برابر با $73/08$ میلی متر به دست آمد. ضمناً $37/44$ درصد از سطح حوزه آبخیز مطالعاتی در طبقه زیاد خطر عامل فرسایندهای باران قرار گرفت (۵).

بشیری و کاوسی داودی به بررسی تغییرات زمانی و مکانی عامل فرسایندهای باران در معادله جهانی فرسایش خاک در سطح استان سیستان و بلوچستان پرداختند. در یک دوره مشترک آماری ۱۷ ساله (۱۹۸۲ تا ۱۹۹۸)، نقشه های هم فرسایندهای سالانه

^۱ - USLE

^۲ - RUSLE

و فصلی برای هر ایستگاه تهیه و مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین مقدار فرسایندهای سالانه در ایستگاه چابهار رخ داده است که علت آن بارندگی بیشتر و تاثیرپذیری این منطقه از بارندگی های موسمی اقیانوس هند بوده و بیشترین میزان عامل فرسایندهای باران در مقیاس فصلی نیز به ترتیب در فصول زمستان، پاییز، بهار و تابستان می باشد (۱).

نظر نژاد و همکاران تغییرات مکانی و زمانی شاخص فورنیه اصلاح شده در طول دوره آماری ۱۹۹۳-۲۰۱۲ در استان آذربایجان غربی را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور، از آمار و اطلاعات بارندگی ۶۶ ایستگاه باران سنجی استفاده شده و نقشه تغییرات مکانی با استفاده از روش کریجینگ معمولی ترسیم شد. حداکثر شاخص فورنیه در جنوب غربی و حداقل آن، در شمال شرقی استان مشاهده شد. بر اساس شاخص تمرکز بارش، به طور تقریبی در ۲۰٪ ایستگاه ها، الگوی نسبتاً فصلی و در ۸۰ درصد ایستگاه ها نیز الگوی فصلی از بارش مشاهده شد (۶).

نظری سامانی و همکاران با هدف تعیین تأثیر شرایط متفاوت اقلیمی بر فرسایندهای باران در حوزه آبخیز فشند واقع در استان البرز، شاخصهای خشکسالی SPI و شاخص EI₃₀ را محاسبه نمودند. سپس روش های مختلف درون یابی زمین آماری مورد مقایسه قرار گرفت و نقشه های پهنه بندی فرسایندهای باران در دوره های خشکسالی، ترسالی، سال نرمال آبی و در کل دوره آماری ۹۱-۷۹ تهیه شد. نتایج نشان می دهد، نقشه های خروجی مطابق با الگوی تغییر پذیری اقلیمی نشان دهنده بیشترین میزان فرسایندهای باران در دوره ترسالی و کمترین میزان آن در دوره خشکسالی می باشند. البته نتایج نشان دادند که فرسایندهای در فصل تابستان در دوره خشک بیشتر از دوره تر است (۷).

گو و همکاران با داده های بارندگی روزانه از ۱ ژانویه ۱۹۸۱ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۵ برای ۳۸ ایستگاه هواشناسی در فلات تبت، فرسایش سالانه و فصلی بارندگی را برای هر ایستگاه محاسبه کردند. نتایج نشان داد که توزیع فضایی فرسایش بارندگی در فلات تبت روند کاهشی قابل توجهی را از جنوب شرقی به شمال غربی نشان می دهد. متوسط فرسایش سالانه بارندگی ۷۱۴ بوده و از ۶۱ تا ۱۷۷۶ مگازول میلیمتر در هکتار در ساعت متغیر است. فرسایش بارندگی عمدتاً در تابستان و پاییز متمرکز بود و به ترتیب ۶۷,۵ و ۱۸,۵ درصد را شامل می شد. علاوه بر این، روند فرسایش سالانه، بهاری و تابستانی در حال افزایش بود و فرسایش بارندگی در بهار بسیار قابل توجه بود (۱۱). ژانگ و همکاران با استفاده از داده های بارندگی روزانه در حوضه رودخانه وی از سال ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۸ تغییرات مکانی و زمانی بارندگی و فرسایش بارندگی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان می دهد که میانگین فرسایش سالانه بارندگی در حوضه از ۷۵۱,۴ تا ۲۶۰۰,۰ متغیر است که الگوی توزیع فضایی مشابه بارندگی دارد. الگوی تغییر فرسایش ماهانه بارندگی یک نوع تک پیک است. فرسایش پذیری زیاد بارندگی عمدتاً از ژوئیه تا سپتامبر مشاهده شد. قله ها بیشتر در ماه های جولای و آگوست رخ می دهند (۲۷).

با بررسی تحقیقات مختلف مشخص می شود که شاخص های مختلف فرسایندهای باران و روشهای مختلف میان یابی بر حسب اطلاعات موجود، اقلیم و شرایط طبیعی مورد استفاده قرار گرفته اند. اهداف این مطالعه عبارت بودند از (الف) بررسی و محاسبه فرسایندهای باران و (ب) ترسیم الگوهای مکانی-زمانی در فرسایندهای باران. نتایج این مقاله جهت بهینه سازی پیش بینی کمی فرسایش خاک و

کمک به برنامه ریزی حفاظت از خاک و آب در استان خوزستان کاربرد دارد.

مواد و روش ها

استان خوزستان در جنوب غرب کشور واقع شده است. این استان بیش از ۶۷۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت داشته و ارتفاع استان از صفر تا نزدیک ۴۰۰ متر نوسان دارد. استان خوزستان از نظر منابع آب به سه بخش حوضه کرخه، دز - کارون و حوضه مارون - زهره تقسیم شده است. استان خوزستان به علت وجود اختلاف ارتفاع زیاد، مناطق مختلف و وجود خلیج فارس از اقلیم متنوع تشکیل یافته که وسعت عمده ای از آن در نواحی از اقلیم بیابانی و خشک و نیمه خشک تشکیل شده و در ارتفاعات به شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ضعیف و نیمه مرطوب تغییر می کند. میانگین بارندگی در جنوب غربی استان کمتر از ۱۵۰ میلی متر است و به طرف ارتفاعات شمال شرقی استان به تدریج افزایش یافته تا به ۱۰۰۰ میلی متر می رسد. خوزستان از نظر دمایی گرم است که میانگین درجه حرارت آن در تیر ماه حدود ۳۰ درجه سانتیگراد و در دی ماه حدود ۱۰ درجه سانتیگراد می باشد.

اساس انجام این پژوهش اطلاعات بارندگی ۲۱ ساله در ایستگاه های باران سنجی و سینوپتیک است. با در نظر گرفتن ۶۵ ایستگاه باران سنجی، ۹ ایستگاه سینوپتیک و باران سنج ثابت، داده های روزانه بارندگی از اطلاعات ایستگاه های باران سنجی، داده های شدت بارندگی با فاصله زمانی ۱،۱۰ و ۱۵ دقیقه ای از ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی و ایستگاه های باران سنجی ثابت وزارت نیرو استخراج شد. در این تحقیق برای بررسی فرسایندهای باران در استان خوزستان، ابتدا شاخص EI_{۳۰} در ایستگاه های باران نگاری محاسبه گردید. سپس شاخص ها و

خصوصیات سهل الوصول بارندگی در ایستگاه های باران سنجی و باران نگاری مورد محاسبه قرار گرفت. در مرحله بعد برآورد شاخص EI_{۳۰} در ایستگاه های باران سنجی انجام گرفت. به این نحو که با ایجاد معادلات رگسیون بین شاخص EI_{۳۰} و شاخصها و خصوصیات سهل الوصول بارندگی در ایستگاه های باران نگاری، مقدار شاخص EI_{۳۰} در ایستگاه های باران سنجی برآورد شد. سپس با استفاده از روش میان یابی این شاخص در تمام ایستگاه ها میان یابی گردید. در نهایت نقشه هم فرساینده استان خوزستان برای ماهها و فصول مختلف تهیه شد.

حاصل ضرب انرژی جنبشی یک بارندگی (KE) در حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای (I_{۳۰}) آن را شاخص EI_{۳۰} می نامند. برای محاسبه انرژی جنبشی یک بارندگی از روابط تجربی استفاده می شود. که عبارتند از:

$$I_r = \frac{\Delta V_r}{\Delta t_r} \quad (1)$$

$$KE = 11.87 + 8.73 \log I_r \quad (2)$$

KE انرژی جنبشی برای فاصله زمانی r ام بر حسب ژول بر میلی متر بارش بر متر مربع (J.m^{-۲}.mm^{-۱})، I_r شدت بارندگی در فاصله زمانی r (میلی متر بر ساعت)، ΔV_r مقدار بارندگی در فاصله زمانی r (میلی متر)، Δt_r فاصله زمانی (ساعت). انرژی جنبشی کل از جمع مقادیر حاصل ضرب های انرژی های محاسبه شده در مقدار بارندگی فواصل زمانی مربوطه بدست می آید.

بنابراین برای تعیین شاخص EI_{۳۰} انرژی جنبشی کل هر بارش باید در حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای همان بارش ضرب شود. این شاخص برای تمام بارندگی های اتفاق افتاده در یک دوره زمانی محاسبه شد و متوسط آنها به عنوان میزان EI_{۳۰} دوره مربوطه قرار گرفت. بعد از محاسبه شاخص

فرساینده‌گی باران در همه ایستگاه‌های هواشناسی، با ورود اطلاعات موقعیت ایستگاه‌ها در محیط نرم افزار ARC GIS و با استفاده از روش میان‌یابی کوکریجینگ نقشه‌های هم‌فرساینده تهیه شد. از نقطه نظر تئوری روش کوکریجینگ با روش کریجینگ تفاوت‌چندانی ندارد در این روش می‌توان با در نظر گرفتن متغیر کمکی که داده‌های کافی از آن وجود دارد و بر اساس همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانویه فرایند تخمین را انجام داد. معادله کوکریجینگ برای برآورد نقاط مجهول به شرح زیر است:

$$Z^*(x_i) = \sum \lambda_i \cdot Z(x_i) + \sum \lambda_k \cdot y(x_k) \quad (3)$$

که در آن $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_i ، λ_i وزن مربوط به متغیر Z ، λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر اصلی و $y(x_k)$ مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است.

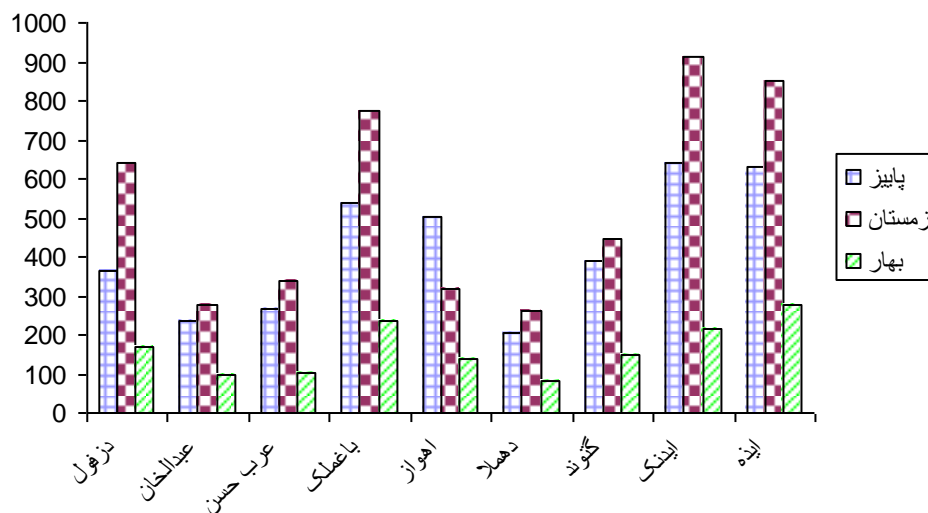
با محاسبه شاخص EI_{30} در ایستگاه‌های باران‌نگاری به صورت روزانه، ماهانه و فصلی تغییرات این شاخص در بعد زمانی مورد ارزیابی قرار گرفت. در فصل تابستان مقدار شاخص در ایستگاه‌های مورد بررسی صفر بوده است. مقادیر فرساینده‌گی ماهانه، فصلی و سالانه در جدول ۱ ارائه شده است. در ایستگاه دزفول حداکثر مقدار فرساینده‌گی باران در

ماه اسفند و سپس آذر است. در این ایستگاه متوسط فرساینده‌گی باران ماه خرداد صفر است. در ایستگاه باغ ملک حداکثر فرساینده‌گی باران در آذر و بعد از آن دی است. و متوسط ماه خرداد صفر است. در ایستگاه اهواز حداکثر فرساینده‌گی باران در آبان اتفاق می‌افتد و خرداد صفر می‌باشد. در ایستگاه دهملا حداکثر فرساینده‌گی باران در آذر است و فرساینده‌گی باران ماه خرداد صفر است. ایستگاه‌های ایزه و ایدنک هم حداکثر در آذر و مقدار خرداد صفر است. متوسط فرساینده‌گی ماهانه ماه آذر در ایستگاه عرب حسن و عبدالخان هم بیشترین در طول سال بوده و حداقل در خرداد اتفاق می‌افتد. در ایستگاه گتوند هم مقدار شاخص فرساینده‌گی باران در ماه مهر حداقل و در ماه آذر حداکثر می‌باشد. با یک نگاه کلی به توزیع ماهانه فرساینده‌گی باران می‌توان دریافت که در بیشتر ایستگاه‌ها در ماه آذر بیشترین فرساینده‌گی متوسط ماهانه اتفاق می‌افتد و کمترین آن مربوط به ماه خرداد است.

در شکل ۱ نمودار مقادیر فرساینده‌گی باران فصلی نشان داده شده است. بر اساس این نمودار در همه ایستگاه‌ها به جزء ایستگاه اهواز، مقدار فرساینده‌گی باران فصل زمستان از فصول دیگر بیشتر است و بهار کمترین مقدار فرساینده‌گی باران را داراست. در ایستگاه اهواز مقدار شاخص فرساینده‌گی فصل پاییز بیشتر از فصل زمستان است.

جدول ۱- مقادیر فرساینده‌گی باران ماهانه و فصلی ($EI_{۳۰}$) ($Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1}$) در ایستگاه های باران نگاری

| نام ایستگاه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | پاییز | زمستان | بهار | سالانه |
|-------------|------|-------|-------|-------|------|-------|---------|----------|-------|-------|--------|------|--------|
| دزفول | ۳۰/۶ | ۶۹/۲ | ۲۶۵ | ۱۸۲/۷ | ۱۴۰ | ۳۲۰ | ۱۵۰ | ۱۶/۶ | ۰ | ۳۶۵ | ۶۴۳ | ۱۶۷ | ۱۱۷۴ |
| عبدالخان | ۲/۴ | ۹۷/۶ | ۱۳۷/۶ | ۸۸ | ۷۷ | ۱۱۰ | ۵۵/۷ | ۳۸/۶ | ۰/۵ | ۲۳۸ | ۲۷۶ | ۹۵ | ۶۰۸ |
| عرب حسن | ۸/۵ | ۸۱/۴ | ۱۸۳/۵ | ۱۵۰ | ۶۰/۳ | ۱۲۹ | ۵۶/۴ | ۴۶ | ۰ | ۲۶۹ | ۳۴۰ | ۱۰۲ | ۷۱۵ |
| باغ ملک | ۱۰/۳ | ۱۸۴/۲ | ۳۴۲/۵ | ۳۰۴ | ۲۴۹ | ۲۱۹ | ۱۸۲/۵ | ۵۱/۵ | ۰ | ۵۳۷ | ۷۷۳ | ۲۳۴ | ۱۵۴۳ |
| اهواز | ۵/۸ | ۳۰۶ | ۱۹۳ | ۱۳۱ | ۴۰/۲ | ۱۴۵ | ۱۱۸/۵ | ۱۹ | ۰/۱ | ۵۰۵ | ۳۱۷ | ۱۳۷ | ۹۵۹ |
| دهملا | ۱۱/۴ | ۸۰/۷ | ۱۱۴ | ۱۰۸ | ۵۱ | ۱۰۱/۵ | ۷۷ | ۷/۶ | ۰ | ۲۰۶ | ۲۶۰ | ۸۵ | ۵۵۱ |
| گتوند | ۸/۸ | ۱۶۱ | ۲۲۰ | ۲۰۵ | ۹۵ | ۱۴۸ | ۱۱۶ | ۳۲/۵ | ۰ | ۳۹۱ | ۴۴۸ | ۱۴۹ | ۹۸۸ |
| ایدنک | ۶/۱ | ۱۶۱/۳ | ۴۷۱ | ۳۴۸ | ۲۳۷ | ۳۲۹ | ۱۸۸ | ۲۸/۳ | ۰/۱ | ۶۳۹ | ۹۱۵ | ۲۱۶ | ۱۷۷۰ |
| ایذه | ۲۵/۷ | ۱۸۷/۷ | ۴۱۵ | ۳۳۱ | ۲۱۸ | ۳۰۳ | ۱۸۹ | ۸۳ | ۲/۳ | ۶۲۸ | ۸۵۳ | ۲۷۴ | ۱۷۵۶ |



شکل ۱- نمودار شاخص فرساینده‌گی باران فصلی ($EI_{۳۰}$) در ایستگاههای باران نگاری استان خوزستان

ایجاد این روابط و انتخاب متغیرها با توجه به همبستگی بین متغیرها، از متغیرهای با همبستگی بالاتر استفاده گردید (جدول ۲). با توجه به ضریب تبیین، مدل های مناسب انتخاب شد. بنابراین با استفاده از روابط رگرسیونی انتخاب شده، مقدار شاخص فرساینده‌گی باران $EI_{۳۰}$ در کل ایستگاههای

برآورد شاخص فرساینده‌گی ماهانه و فصلی در ایستگاه های باران سنجی

برای برآورد شاخص فرساینده‌گی باران ماهانه و فصلی در ایستگاه های باران سنجی، روابط رگرسیونی بین این شاخص ($EI_{۳۰}$) و شاخص ها و خصوصیات سهل الوصول بارندگی برقرار شد. برای

فرسایندگی باران می باشد. در بررسی فرسایندگی فصلی با توجه با جدول مذکور، فصل زمستان دارای بیشترین مقدار فرسایندگی فصلی می باشد و بهار کمترین مقدار فرسایندگی را داراست. فصل تابستان هم به دلیل عدم بارندگی مقدار شاخص فرسایندگی باران برابر با صفر می باشد (جدول ۳).

هواشناسی استان خوزستان تکمیل گردید. جدول ۳ آماره های توصیفی شاخص فرسایندگی ماهانه و فصلی همه ایستگاههای هواشناسی شامل باران نگاری و باران سنجی را نشان می دهد. بر اساس میانگین شاخص ها، ماه آذر دارای بیشترین فرسایندگی و ماه خرداد دارای کمترین میزان

جدول ۲- روابط رگرسیونی و ضرایب تبیین روابط برای برآورد شاخص فرسایندگی ماهانه و فصلی

| معادله | ضریب تبیین |
|--|------------|
| $R_{mehr} = -1/29 + 2/27 P_{mehr}$ | ۰/۸۱۵** |
| $R_{aban} = -60/554 + 1/803 P_{max24}$ | ۰/۴۴۶* |
| $R_{azar} = 111/4 + 0/08675 C_i$ | ۰/۹۳۳** |
| $R_{dey} = -26/21 + 2/604 P_{maxmm}$ | ۰/۹۷۷** |
| $R_{bah} = 28/122 + 0/05917 C_i$ | ۰/۹۴۹** |
| $R_{esfand} = 21/089 + 2/475 P_{esfand}$ | ۰/۷۷۶* |
| $R_{far} = 5/743 + 1/35 P_{maxmm}$ | ۰/۸۶** |
| $R_{ordibehesht} = 2/64 + 2/384 P_{ordibehesht}$ | ۰/۷۹۸** |
| $R_{khordad} = -0/239 + 1/677 P_{khordad}$ | ۰/۸۵۱** |
| $R_{paeiz} = 24689 + 1/007 C_i$ | ۰/۷۱۵* |
| $R_{zemestan} = 135/98 + 241/6 P_{zemestan}$ | ۰/۹۶۵** |
| $R_{bahar} = 1970 + 34/6 P_{year}$ | ۰/۹۰۴** |

** معنی دار در سطح یک درصد، * معنی دار در سطح پنج درصد

R شاخص فرسایندگی باران (EI₃₀) (Mj.mm.ha⁻¹.h⁻¹)، P بارندگی متوسط ماهانه، فصلی یا سالانه (میلی متر)، P_{max24} حداکثر بارندگی روزانه، P_{maxmm} حداکثر بارندگی متوسط ماهانه (میلی متر)، C_i شاخص Ciccacci (Pδ) (میلی متر) که در آن P بارندگی متوسط سالانه (میلی متر) و δ انحراف معیار بارندگی های ماهانه (میلی متر) است (۱۲).

جدول ۳- آماره های توصیفی شاخص فرسایندگی باران ماهانه و فصلی در کل ایستگاه ها

| متغیر | حداقل | حداکثر | ضریب تغییرات (%) | میانگین | انحراف معیار | چولگی | کشیدگی |
|---------------------|-------|--------|------------------|---------|--------------|-------|--------|
| R _{mehr} | ۰/۷۶ | ۵۴/۸ | ۶۸ | ۱۳/۴ | ۹/۲ | ۰/۹۴۵ | ۱/۸۵ |
| R _{aban} | ۳۳/۲ | ۳۶۳ | ۴۶ | ۱۵۳ | ۷۱/۵ | ۰/۹۲۴ | ۰/۶۰۹ |
| R _{azar} | ۱۲۸ | ۱۲۰۹ | ۶۹ | ۲۹۲ | ۲۰۲ | ۱/۰۴ | ۲/۱۲ |
| R _{dey} | ۶۴ | ۶۴۰ | ۵۴ | ۲۲۲ | ۱۲۱ | ۱/۱۷ | ۱/۲۱ |
| R _{bahman} | ۳۹/۹ | ۷۷۷ | ۹۱ | ۱۵۱ | ۱۳۸ | ۱/۰۴ | ۲/۱۲ |
| R _{esfand} | ۷۴/۷ | ۵۱۴ | ۴۸ | ۲۱۰ | ۱۰۱ | ۱/۰ | ۰/۵۸۸ |

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|------|-----|------|------|--------------------------|
| ۱/۲۱ | ۱/۱۷ | ۶۳ | ۱۳۴ | ۴۷ | ۳۵۱ | ۵۲/۵ | R _{farvardin} |
| ۲/۰۳ | ۰/۷۵ | ۳۴ | ۴۱/۳ | ۸۲ | ۱۷۰ | ۶/۱ | R _{ordibehesht} |
| ۲/۴ | ۰/۸۲۵ | ۰/۹۹۳ | ۰/۵۸ | ۱۷۱ | ۵/۶ | ۰ | R _{khordad} |
| ۱/۸۵ | ۰/۶۵۴ | ۲۳۵ | ۴۵۷ | ۵۱ | ۱۵۲۲ | ۲۶۶ | R _{paiez} |
| ۰/۸۷۲ | ۱/۰۸ | ۳۱۰ | ۵۷۱ | ۵۴ | ۱۶۰۷ | ۱۹۸ | R _{zemestan} |
| ۱/۱۶ | ۱/۱۹ | ۸۱ | ۱۷۰ | ۴۷ | ۴۳۳ | ۷۲ | R _{bahar} |

میان یابی شاخص فرساینده گی باران (EI_{۲۰}) ماهانه و فصلی

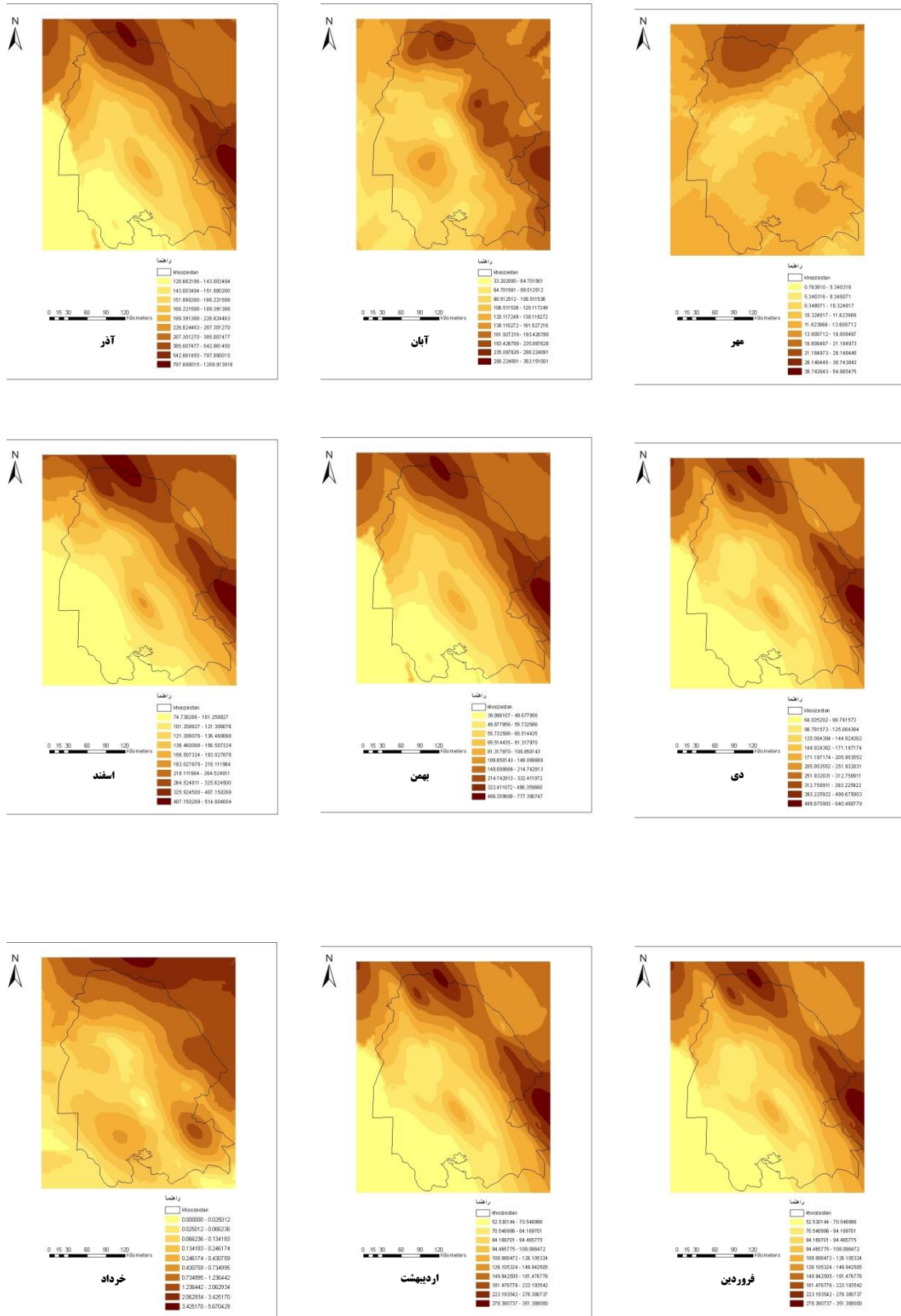
همه متغیرهای فرساینده گی ماهانه و فصلی مدول کروی برازش یافت. برای ارزیابی و محاسبه دقت میان یابی از ضریب تبیین و Rmse (ریشه دوم میانگین مربع خطا) استفاده شد. با استفاده از روش کوکریجینگ میان یابی شاخص های فرساینده گی ماهانه و فصلی انجام گرفت و نقشه های فرساینده گی باران ماهانه و فصلی تهیه شد که در اشکال ۲ و ۳ این نقشه ها ارائه شده است. بطور کلی می توان نتیجه گرفت که روند تغییرات مکانی مقادیر فرساینده گی ماهانه و فصلی در استان خوزستان به این صورت است که مناطق غربی و جنوبی کمترین و مناطق شرقی و شمالی بیشترین فرساینده گی باران را دارا هستند و به شکلی مشخص از جنوب غرب به سمت شمال شرق روند افزایشی دیده می شود.

روش کوکریجینگ به عنوان روش میان یابی برای تهیه نقشه هم فرساینده ماهانه و فصلی در استان خوزستان استفاده شد. با توجه به استفاده از متغیر کمکی در روش کوکریجینگ، برای میان یابی هر یک از متغیرها با توجه به همبستگی شاخص (EI_{۲۰}) ماهانه و فصلی با شاخص ها و خصوصیات سهل الوصول بارندگی، انتخاب متغیر کمکی انجام گرفت. اطلاعات بارندگی به شکلهای مختلف و شاخص سیکاکی (Ci) به عنوان متغیرهای موثری به عنوان متغیر کمکی مورد استفاده قرار گرفت. روش کوکریجینگ روشی زمین آماری است و جدول ۴ خصوصیات مدل برازش داده شده به تغییر نمای^۲ داده های شاخص فرساینده گی باران ماهانه و فصلی و همچنین ارزیابی این مدل ها را نشان می دهد. در

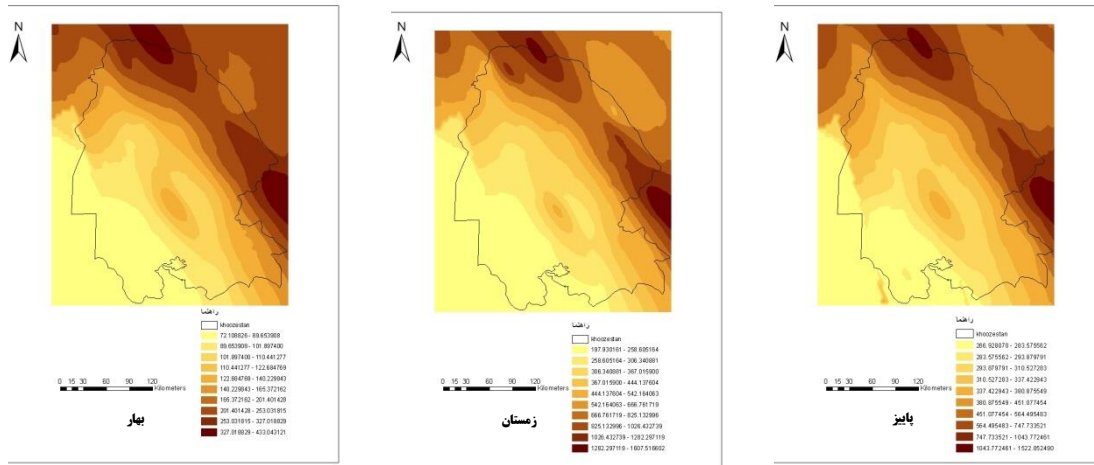
^۲ - Variogram

جدول ۴- مشخصات مدل برازش شده بر شاخص فرساینده گی ماهانه و فصلی

| R ² | Rmse | آستانه (Mj.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹) ^۲ | دامنه تاثیر | | اثر قطعه ای (Mj.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹) ^۲ | مدل | متغیر کمکی | متغیر |
|----------------|-------|---|-----------------------|-----------------------|---|------|--------------------------|--------------------------|
| | | | شعاع کوچک (متر) | شعاع بزرگ (متر) | | | | |
| ۰/۲۰ | ۸/۱۸ | ۵۲/۸ | - | ۳۲۷۸۸۵ | ۵۶/۲ | کروی | P _{mehr} | R _{mehr} |
| ۰/۵۸ | ۴۶/۴ | ۳۲۸۷ | - | ۱۰۳۰۳۵ | ۲۱۲۰ | کروی | P _{max24} | R _{aban} |
| ۰/۷۲ | ۱۰۸ | ۵۰۳۹۰ | ۱۳۳۶۴۰ | ۳۱۴۰۱۱ | ۳۴۹۸ | کروی | C _i | R _{azar} |
| ۰/۸۹ | ۴۲/۵ | ۱۹۷۰۰ | ۱۳۳۶۳۸ | ۳۱۴۰۱۲ | ۰ | کروی | P _{maxmm} | R _{dey} |
| ۰/۷۲ | ۷۳/۶ | ۲۳۴۴۳ | ۱۳۳۶۴۰ | ۳۱۴۰۱۱ | ۱۶۲۷ | کروی | C _i | R _{bahman} |
| ۰/۹۰ | ۳۲/۴ | ۱۳۳۲۸ | ۱۳۳۶۳۵ | ۳۱۴۰۱۵ | ۲۰۶ | کروی | P _{esfand} | R _{esfand} |
| ۰/۸۸ | ۲۲/۰۵ | ۵۲۹۴ | ۱۳۳۶۳۸ | ۳۱۴۰۱۲ | ۰ | کروی | P _{maxmm} | R _{farvardin} |
| ۰/۷۹ | ۱۵/۷ | ۱۳۳۱ | ۱۱۹۷۷۶ | ۳۱۴۰۱۱ | ۹۸ | کروی | P _{ordibehesht} | R _{ordibehesht} |
| ۰/۳۰ | ۰/۸۲۵ | ۰/۹۸ | ۱۷۵۲۶۰ | ۳۱۴۰۱۹ | ۰/۲۸۸ | کروی | P _{khordad} | R _{khordad} |
| ۰/۷۲ | ۱۲۵/۴ | ۶۷۸۹۹ | ۱۳۳۶۴۰ | ۳۱۴۰۱۱ | ۴۷۱۴ | کروی | C _i | R _{paiez} |
| ۰/۹۴ | ۷۶/۷ | ۱۲۱۸۴۰ | ۱۱۹۷۶۶ | ۳۱۴۰۱۱ | ۰ | کروی | P _{zemestan} | R _{zemestan} |
| ۰/۸۳ | ۳۴ | ۷۷۵۶ | ۱۳۳۶۳۷ | ۳۱۴۰۱۳ | ۷۶۰ | کروی | P _{year} | R _{bahar} |



شکل ۲- نقشه فرساینده‌گی باران ماهانه با استفاده از شاخص ET_0 در استان خوزستان



شکل ۳- نقشه فرساینده‌گی باران فصلی با استفاده از شاخص EI_{30} در استان خوزستان

نتیجه گیری

فرسایش خاک یک مساله مهم زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. فرسایش خاک فرآیندی تدریجی است که در اثر برخورد عامل فرسایش دهنده به خاک اتفاق می افتد و موجب جدایش و حرکت ذرات خاک و تخریب آن می شود. در این بین شاید مهمترین عامل برخورد قطرات باران به ذرات خاک و متلاشی نمودن و جابجایی ذرات خاک است که به عنوان فرساینده‌گی باران شناخته می شود و می تواند نشان دهنده پتانسیل فرسایش در مناطق مورد نظر باشد. این عامل در بسیاری از روشهای تجربی برآورد کمی و یا کیفی فرسایش

خاک، به عنوان یکی از عوامل اصلی، تعیین کننده است. فرساینده‌گی باران به عنوان یکی از مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار بر فرسایش آبی خاک در قالب شاخصهایی بیان می شود. یکی از این شاخص ها EI_{30} است. شاخص EI_{30} برای ایستگاههای هواشناسی سینوپتیک دارای باران نگار محاسبه شد و رابطه رگرسیون نیز بین شاخص EI_{30} و تعدادی از شاخص های سهل الوصول نظیر بارندگی حدکثر روزانه و ماهانه، بارندگی متوسط ماهانه، فصلی و سالانه و شاخص سیکاکی در ۹ ایستگاه سینوپتیک دارای باران نگار ایجاد شد. در مرحله بعد با استفاده از روابط رگرسیونی برقرار شده، مقادیر EI_{30} در

گوسی را بهترین مدل برای بررسی ساختار مکانی شاخص EI_{30} انتخاب کردند. استفاده از متغیر کمکی در روش کوکریجینگ در استان خوزستان با توجه به کمبود نمونه ها، عاملی است که باعث افزایش دقت و کیفیت میان یابی بسیاری از متغیرهای محیطی می شود. در این روش از متغیرهای حداکثر بارندگی روزانه، حداکثر بارندگی متوسط ماهانه، بارندگی متوسط برخی از ماههای سال، بارندگی متوسط فصلی، بارندگی سالانه و شاخص سیکاکی (C_i) در میان یابی شاخص EI_{30} به عنوان متغیر کمکی استفاده شد. در نهایت نقشه های ماهانه و فصلی تغییرات مکانی فرساینده باران با استفاده از شاخص EI_{30} با روش کوکریجینگ تهیه شد.

نقشه های خروجی فرساینده باران ماهانه و فصلی وجود روند کاهشی شاخص فرساینده باران را از مناطق شرقی و شمالی به مناطق غربی و جنوبی استان را نشان می دهند و این الگو مطابق با الگوی تغییرات اقلیمی از مناطق مرطوب تر و پرباران تر به مناطق خشک تر و کم باران تر است. نقشه های هم فرساینده ماهانه و فصلی فرساینده تا حدود زیادی با هم مطابقت دارند و تغییرات مکانی مشابهی را نشان می دهند.

ایستگاههای فاقد آمار شدت بارندگی محاسبه شد. بر اساس میانگین ماه آذر با میانگین ۲۹۲ دارای بیشترین فرساینده و ماه خرداد با میانگین ۰/۵۸ مگاژول میلیمتر در هکتار در ساعت دارای کمترین میزان فرساینده باران می باشد. میزان فرساینده باران در ماههای تابستان با توجه به عدم وجود بارندگی صفر در نظر گرفته شد. در بررسی فرساینده فصلی، فصل زمستان با مقدار ۵۷۱ دارای بیشترین مقدار فرساینده فصلی می باشد و بهار با ۱۷۰ مگاژول میلیمتر در هکتار در ساعت کمترین مقدار فرساینده را داراست. فصل تابستان هم به دلیل عدم بارندگی، مقدار شاخص فرساینده باران برابر با صفر است.

بعد از تکمیل کردن داده های ماهانه و فصلی EI_{30} ، تغییر نمای آن در روش میان یابی زمین آماری کوکریجینگ، ترسیم و مدل مناسب بر آن برآزش داده شد. برای بررسی ساختار مکانی در این تحقیق در بررسی شاخص فرساینده ماههای مختلف و فصول مختلف، مدل کروی انتخاب گردید. گورتس^۴ (۱۹۹۹) هم در بررسی ساختار مکانی شاخص EI_{30} بهترین مدل را کروی انتخاب نمود در حالیکه تاج علی پور و همکاران (۱۳۸۸) مدل نمائی، شش انگشت و همکاران (۱۳۸۴) و وانگ^۵ و همکاران (۲۰۰۲) مدل

منابع:

- ۱- بشیری، م. و س.م. کاوسی داودی، ۱۳۹۴، بررسی تغییرات زمانی و مکانی عامل فرساینده باران در استان سیستان و بلوچستان، اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران، اردیبهشت.
- ۲- تاج علی پور، ز. مهدیان، م.ج.، پذیرا، ا. و م. حیدری زاده، ۱۳۸۸. بررسی تغییرات مکانی شاخص فرساینده در حوزه آبخیز دریاچه نمک، یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. گرگان.

° - Wang

⁴ - Gooaverts

- ۳- حکیم خانی، ش.، مهدیان، م.ح.، عرب خدری، م. و د. قربان پور، ۱۳۸۴. بررسی فرساینده‌گی باران در سطح کشور به روش فورنیه اصلاح شده. سومین سمینار ملی فرسایش و رسوب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۲۸۱-۲۸۸.
- ۴- شش انگشت، س.، علی محمدی، ع. و م.ج. سلطانی، ۱۳۸۴. ارزیابی مدل های زمین آماری در GIS برای تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در حوزه آبخیز لتیان. همایش سیستم اطلاعات مکانی ۸۴. سازمان نقشه برداری کشور.
- ۵- مصطفی زاده، ر. ذبیحی، م. حاجی، خ. و م.ج. قویمی پناه، ۱۳۹۷. الگوهای تغییرپذیری زمانی و مکانی خطر عامل فرساینده‌گی باران در شمال شرق ایران، نیوار، ۴۲، ۱۰۲، ۹-۱۸.
- ۶- نظر نژاد، ح. شاه حسین، ت. و ف. اسدزاده، ۱۳۹۷. تغییرات مکانی و زمانی فرساینده‌گی باران در استان آذربایجان غربی، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲۷.
- ۷- نظری سامانی، ع.ا. زرین، ب. و ش. خلیقی سیگارودی، ۱۳۹۸. نقش تغییرپذیری اقلیمی برالگوی زمانی و مکانی فرساینده‌گی باران (بررسی موردی: حوزه آبخیز فشند)، مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۷۲، ۱، ۲۹۰-۲۷۹.
- ۸- Arnoldus, H.M.J., 1980. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In: de Boedt, M., Gabriels, D. (Eds.), Assessment of Erosion. Wiley, New York, pp. 127-132.
- 9- Bonilla, C.A.; Vidal, K.L. 2011. Rainfall erosivity in Central Chile. Hydrology, 410, 126-133.
- 10- Goovaerts, P. 1999. Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. Catena .34:227-242.
- 11- Gu, ZH. 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; doi:10.3390/w12010200
- 12- Hadley, R. F., Lal, R., Onstad, C. A., Walling, D. E. and Yair, A. 1985. Recent developments in erosion and sediment yield studies. UNESCO, Paris, 127pp.
- 13- Hamlaoui-Moulai, L.; Mesbah, M.; Souag-Gamane, D.; Medjerab, A. 2013. Detecting hydro-climatic change using spatiotemporal analysis of rainfall time series in Western Algeria. Natural Hazards, 65, 1293-1311.
- 14- Hudson, N. 1971. Soil Conservation; Cornell University Press: Ithaca, NY, USA.
- 15- Kinnell, P.I.A.; Risse, L.M. 1998. USLE-M: Empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. Soil Sci. Soc. Am. J., 62, 1667-1672.
- 16- Lal, R. and Elliot, W. 1994. Erodibility and erosivity. In Lal, R. (ed), Soil erosion research methods. Soil and Water Conservation Society. Ankeny. 181-208.
- 17- Liu, B.Y.; Guo, S.Y.; Li, Z.G. 2013. China's hydraulic erosion sampling survey. Soil Water Conservation. China, 10, 26-34. (In Chinese).

- 18- Panagos, P.; Borrelli, P.; Poesen, J.; Ballabio, C.; Lugato, E.; Meusburger, K.; Montanarella, L.; Alewell, C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ. Sci. Policy*, 54, 438–447.
- 19- Pimentel, D. 2006. Soil erosion: A food and environmental threat. *Environ. Dev. Sustain.*, 8, 119–137.
- 20- Ramos, M.C.; Durán, B. 2014. Assessment of rainfall erosivity and its spatial and temporal variabilities: Case study of the Penedès area (NE Spain). *Catena*, 123, 135–147.
- 21- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.K.; Yoder, D.C. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*; United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA.
- 22- Wang, G., Gertner, G., Singh, V., Shinkareva, S., Parysow, P. and Anderson, A. 2002. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall–runoff erosivity R factor. *Ecological Modelling* 153, 143–155.
- 23- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. AGU*, 39, 285–291.
- 24- Wischmeier, W.H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 23, 246–249.
- 25- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*; Agriculture Handbook 537; U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service: Washington, DC, USA.
- 26- Zhang, W.B.; Xie, Y.; Liu, B.Y. 2003. Spatial distribution of rainfall erosivity in China. *J. Mt. Sci.*, 21, 33–40. (In Chinese)
- 27- Zhang, Y. Chao, Y. Fan, R. Ren, F. Qi, B. Ji, K. and Xu, B. 2021. Spatial–temporal trends of rainfall erosivity and its implication for sustainable agriculture in the Wei River Basin of China, *Agricultural Water Management*, Volume 245, 106557, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106557>.

Evaluation of spatio-temporal variations of rainfall erosivity index using cokriging method in Khuzestan province

Abstract

Rainfall erosivity is the ability of rain to separate soil particles and has a high correlation with soil erosion. The aim of this study was to investigate the temporal spatial variations of rainfall erosivity using the EI_{30} index. In this study, EI_{30} index was calculated for different months and seasons in 9 recording rain gauge stations in Khuzestan province. Then, using regression relationships between EI_{30} index and other easily accessible rainfall specifications and indices in rain gauge stations, the values of EI_{30} index for 65 rainfall stations were estimated. In order to prepare the monthly and seasonal rainfall erosivity map, the point data of EI_{30} index in 74 recording raingauge and non-recording raingauge stations were interpolated using Cokriging geostatistical method. According to the prepared maps, the highest amounts of monthly and seasonal rainfall erosivity are in the east and north of Khuzestan and the lowest amounts of rainfall erosivity are in the south and west of Khuzestan province. On average, the highest monthly rainfall erosivity index occurs in December with a value of $292 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ and the highest seasonal erosion index occurs in winter with a value of $576 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ and the value of this index is zero for summer.

Keywords: *Rainfall erosivity, Interpolation, Khuzestan, EI_{30} index*