



مدلینگ فاکتور فرساینده گی باران با استفاده از روش زمین آمار (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)

افشین شعبانی^{۱*}، حمیدرضا متین فر^۲، صالح آرخی^۳، سعید رحیمی هرآبادی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده کارتوگرافی، دانشگاه تهران

۲. استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۳. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومرفولوژی، دانشگاه تهران

چکیده

فرسایش خاک یکی از عواملی است که زندگی بشر را تهدید می‌کند. اندازه گیری فرسایش همواره با مشکلاتی همراه است. کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری در بیشتر حوزه‌های آبخیز برآورد فرسایش و رسوب را با مشکل مواجه ساخته است. البته محققان زیادی سعی کرده‌اند که روابط تجربی مناسب با هر شرایط آب و هوایی برای برآورد فرسایش و رسوب ارائه دهند. در این میان معادله جهانی فرسایش خاک و تجدید نظر شده آن از جمله مدل‌هایی است که در سرتاسر جهان کاربرد گسترده‌ای دارد. یکی از پارامترهای مهم این مدل فاکتور (R) یا شاخص فرساینده گی باران است که رابطه مستقیم با شدت فرسایش دارد. در این تحقیق در یک دوره آماری ۲۲ ساله از ۱۶ ایستگاه کلیماتولوژی محدوده حوزه سد ایلام برای تهیه نقشه فاکتور فرساینده گی باران استفاده شد. پس از محاسبه فاکتور فرساینده گی باران برای ایستگاه‌های مورد نظر، با استفاده از اکستنشن زمین آمار و روش زمین آماری مبتنی بر کریجینگ در محیط ARC GIS 9.3 نقشه فاکتور فرساینده گی باران برای این حوزه ترسیم گردید. همچنین در این تحقیق سه نوع روش کریجینگ شامل کریجینگ معمولی، ساده و عمومی مورد استفاده قرار گرفت. در پایان مشاهده گردید که روش کریجینگ ساده با مربع میانگین ریشه خطا ۶۷/۹۲ از بین روش‌های به کار گرفته شده مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی می‌باشد. همچنین در مقایسه مربع میانگین ریشه خطا با خطای استاندارد برای تعیین میزان برآورد مورد انتظار، هر سه روش دارای برآوردی کمتر از حد انتظار بودند.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۸ اردیبهشت ۱۳۹۰

پذیرش: ۲۳ شهریور ۱۳۹۰

دسترسی اینترنتی: ۲۵ مهر ۱۳۹۰

واژه‌های کلیدی:

زمین آمار

کریجینگ

فرسایش خاک

سد ایلام

مقدمه

یکی از اشکال مهم نزولات جوی باران است. باران علاوه بر مزایایی که به همراه دارد از عوامل اصلی در فرسایش آبی به شمار می‌رود. معادله جهانی فرسایش خاک (universal soil loss equation) (۳۸) و مدل تجدید نظر شده آن (revised universal soil loss equation) (۳۹) از جمله مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب هستند که در اغلب مناطق دنیا کاربرد داشته و در کشور ایران نیز کاربرد فراوانی دارد (۱۵، ۲۲، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۹، ۲۵). این مدل شامل فاکتورهایی از قبیل فرساینده‌ی باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و مدیریت (P) است که هر کدام از آن‌ها رابطه مستقیمی با فرسایش دارند. زمین آمار در مدل‌سازی داده‌های با همبستگی مکانی به ویژه متغیرهای خاک و متغیرهای اتمسفری کاربرد گسترده‌ای دارد (۲، ۳، ۷، ۱۰، ۱۲). ویژگی‌های زمین آمار که سبب استفاده گسترده آن شده است، استوار بودن بر تغییرات محلی و در نظر گرفتن وابستگی هر نقطه در ارتباط با نقاط همسایه است (۲، ۱۳، ۲۵، ۲۶). فاکتور فرساینده‌ی باران یا فاکتور (R) به قابلیت بالقوه باران در ایجاد فرسایش تعبیر می‌گردد (۳۲، ۳۹). میزان فرساینده‌ی باران با میزان بارندگی و میزان بارندگی با ارتفاع رابطه مستقیم دارد. به همین دلیل در گذشته سعی می‌شد که با استفاده از برقراری یک رابطه رگرسیونی میان ارتفاع و بارندگی نقشه بارندگی منطقه تهیه گردیده و با استفاده از یک رابطه رگرسیونی دیگر برای بارندگی و میزان فاکتور فرساینده‌ی باران، نقشه فرساینده‌ی باران تهیه گردد (۱۵، ۱۷). روش دیگری که در گذشته استفاده می‌شد روش مربع معکوس وزنی فاصله (Inverse distance) است. روش مربع معکوس وزنی فاصله برای درونیابی فاکتور فرساینده‌ی باران در حوزه رودخانه سیحون در کشور ترکیه به کار گرفته شد (۲۰). مشکل اصلی در روش معکوس وزنی فاصله، وزنی است که به نقاط تعلق می‌گیرد که با بهبود این وزن‌ها درونیابی با دقت بالاتری انجام می‌گیرد (۳۷). یکی از روش‌هایی که امروزه جایگزین آمار کلاسیک (شامل رگرسیون، مربع معکوس وزنی فاصله) شده است روش‌های زمین آماری است. از این روش‌ها امروزه

برای درونیابی ایستگاه‌های بارندگی و سایر متغیرهایی که وابستگی مکانی دارند استفاده می‌شود (۸ و ۱۱). سزولگای و همکاران (۳۶) روش‌های درونیابی نزدیک‌ترین همسایگی، معکوس وزنی فاصله و کریجینگ را برای تهیه نقشه ماکزیمم بارندگی سالانه با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال استفاده نمودند و با روش‌های صحت سنجی سرتاسری (Cross-validation) و تفسیر چشمی صحت آن‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند.

گاورتس (۱۸) از سه روش معکوس وزنی فاصله، پلی گون تیسس و کریجینگ در ۳۱ ایستگاه هواشناسی ایالت میشیگان برای مدل سازی بارندگی استفاده کرد که در این میان روش کریجینگ بالاترین دقت را داشته است. هولویا و دوتر (۱۹) از آمار ۲۰ ساله ۴۰۰ ایستگاه برای محاسبه خصوصیات واریوگرام مورد استفاده در روش زمین آماری کریجینگ استفاده کردند. فرجی سبکبار و عزیز (۹) در ارزیابی میزان دقت روش‌های درونیابی مکانی در حوزه کارده مشهد روش تین و کریجینگ را از بهترین روش‌ها معرفی می‌کنند.

در محاسبه شاخص فرساینده‌ی باران با استفاده از زمین آمار در استان هبی (HEBI) در چین، روش کریجینگ معمولی درجه دوم نسبت به روش کریجینگ معمولی درجه صفر و درجه یک عملکرد بهتری داشته و همچنین واریوگرام برازش داده گوسین عملکرد بهتری از واریوگرام کروی و نمایی داشته است (۲۸).

در درونیابی بارندگی در حوزه چانیا در شمال شرقی یونان روش کریجینگ معمولی بهترین روش برآورد گردیده است (۲۲). در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سیسیل در شمال ایتالیا با استفاده از مدل اصلاح شده جهانی فرسایش خاک میزان فاکتور فرساینده‌ی باران این مدل با استفاده از روش کریجینگ درونیابی گردید (۳۰).

در این تحقیق برای به دست آوردن میزان فاکتور فرساینده‌ی باران ابتدا آمار بارندگی یک دوره ۲۲ ساله از ۱۶ ایستگاه بارندگی جمع آوری شد. سپس میانگین ماهانه و سالانه این ایستگاه‌ها محاسبه شده و با استفاده از شاخص فورنیر میزان فرساینده‌ی باران برای ایستگاه‌های مورد مطالعه به دست آمد سپس با مقایسه سه روش مبتنی بر کریجینگ شامل کریجینگ عام، ساده، معمولی واریوگرام کروی مربوط به هر سه روش رسم شده و سپس با استفاده از روش صحت سنجی

خاک (۳۹) می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، در بسیاری از نقاط دنیا، فاکتور (R) همبستگی بالایی با فرسایش خاک دارد (۳۱، ۳۵). فاکتور (R) برای دوره‌های مختلف، از طریق محاسبه مقدار بارندگی، شدت بارندگی و محاسبه انرژی جنبشی رگبار (E) و حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای تعیین می‌گردد. از آنجائی‌که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار به ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود می‌باشند، غالباً از مقادیر بارندگی متوسط سالیانه (۳۳، ۳۵) و ماهیانه (۱۶) جهت برآورد فاکتور (R) در مدل‌های جهانی فرسایش خاک و اصلاح شده آن استفاده می‌شود. برای محاسبه فاکتور (R) از دوره آماری ۲۲ ساله در ۱۶ ایستگاه بارندگی استفاده گردید (شکل ۲). بارندگی ماهیانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها و در دوره زمانی مورد مطالعه، محاسبه گردید. با استفاده از رابطه (۱) و (۲)، شاخص فورنیر و فاکتور (R) برای همه ایستگاه‌ها به دست آمد (۳۱).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \quad [1]$$

در این معادله، P_i متوسط ارتفاع بارندگی (mm) در ماه i و P متوسط بارندگی سالیانه (mm) است.

سرتاسری میزان خطای برآورد برای هر روش محاسبه گردید و در پایان با توجه به مربع میانگین ریشه خطا (RMSE) بهترین روش برای درونیابی استخراج شد.

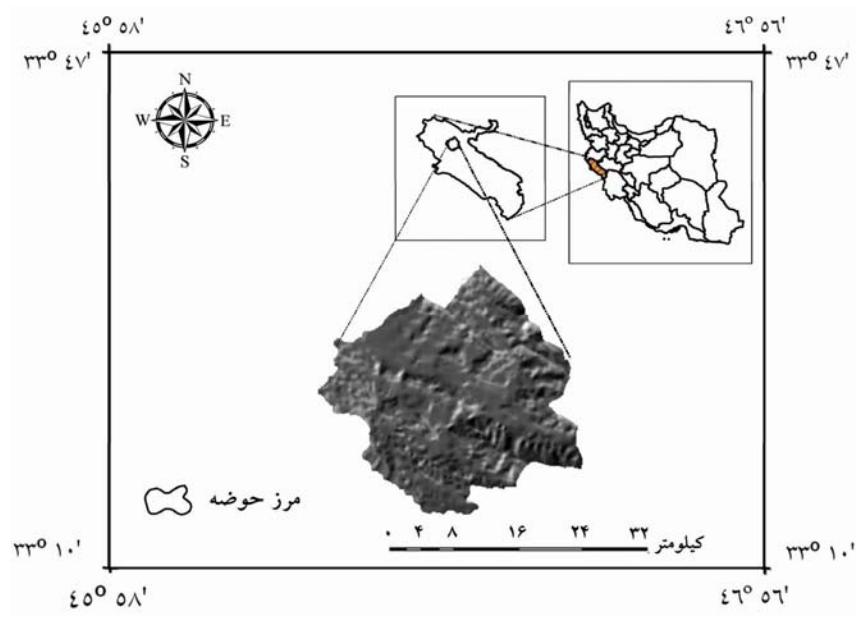
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

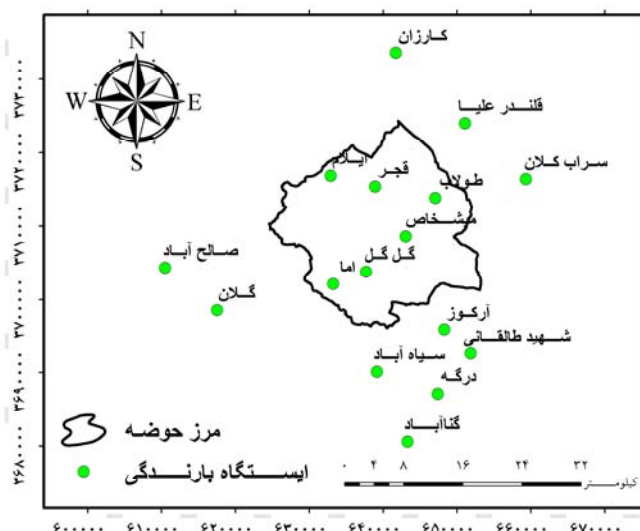
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوزه سد ایلام، واقع در جنوب شرقی استان ایلام با مساحت ۱۸۳۶۰ هکتار است که بین طول‌های $۳۱^{\circ} ۱۷' ۲۰''$ تا $۳۱^{\circ} ۳۱' ۴۶''$ شرقی و عرض‌های $۴۲''$ تا $۳۳^{\circ} ۲۳' ۰۲''$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). نقاط ارتفاعی منطقه حداکثر ۲۱۷۷ متر و حداقل ۹۴۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. از لحاظ شرایط اقلیمی، این منطقه جزو مناطق نیمه خشک (اقلیم مدیترانه‌ای) با متوسط بارندگی $۵۹۲/۷۸$ میلی‌متر در سال و میانگین دمای $۲۱/۷$ درجه سانتیگراد در تابستان و $۴/۷$ درجه سانتیگراد در زمستان است.

فاکتور فرساینده باران

فرساینده باران به صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود (۲۳). معمول‌ترین شاخص فرساینده باران، فاکتور (R) مربوط به مدل‌های جهانی فرسایش خاک (۳۸) و معادله اصلاح شده جهانی فرسایش



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های بارندگی مورد مطالعه

α و β به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های تبدیل یافته‌اند که به ترتیب از رابطه (۴) و (۵) قابل محاسبه‌اند.

$$\alpha = \frac{\sum \log x_i}{n} \quad [4]$$

$$\beta = \frac{\sum \log x_i f_i}{n} \quad [5]$$

واریوگرام برای تعیین میزان همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه‌برداری شده و استخراج پارامترهای لازم در مراحل درونیابی از واریوگرام استفاده می‌شود. واریوگرام دارای انواع مختلفی است که در این تحقیق از واریوگرام‌های نمایی، گوسین، کروی و خطی استفاده گردید.

مدل کروی:

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[\frac{3}{2} \times \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \times \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad [6]$$

مدل نمایی:

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad [7]$$

مدل گوسین:

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right] \quad [8]$$

مدل خطی:

$$\delta = \alpha + \beta h^\theta \quad 0 < \theta < 2 \quad [9]$$

که در این روابط: c حد آستانه، a دامنه تأثیر و h فاصله بین نمونه‌ها است.

با استفاده از رابطه (۱)، شاخص فورنیر برای تمامی ایستگاه‌ها، محاسبه گردید. سپس با جایگذاری شاخص فورنیر در رابطه (۲) که توسط رنارد و فریموند (۳۴) برای مناطق با بارندگی غالب پیشنهاد شده مقدار فاکتور (R) برای ایستگاه‌های شاخص برآورد گردید.

$$R - \text{factor} = (0.07397 \times F^{1/847}) / 17/2, \quad F < 55 \quad [2]$$

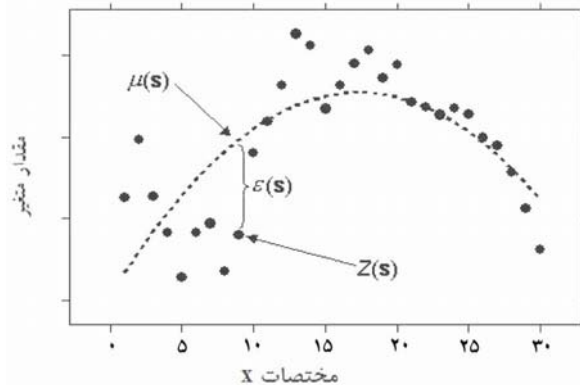
$$, \quad F > 55$$

$$R - \text{factor} = (95/77 - 6/0.81 \times F + 0/477 \times F^2) / 17/2$$

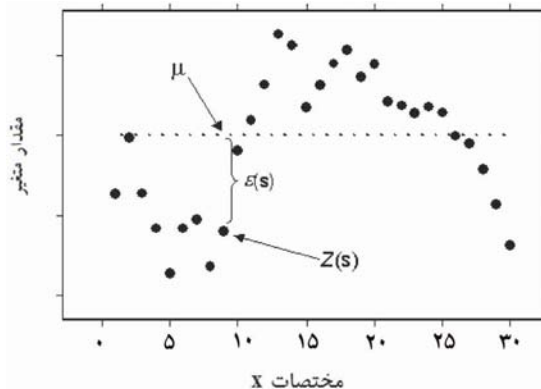
شاخص‌های آماری

اولین گام در استفاده از روش‌های زمین آماری کریجینگ مقایسه داده با توزیع نرمال است. که در صورت عدم توزیع نرمال داده‌ها، توزیع داده‌ها با استفاده از روش لوگ نرمال یا باکس-کاکس (BOX-COX) به توزیع نرمال تبدیل می‌شود که روش تبدیل با استفاده از لوگ نرمال در رابطه (۳) ارائه شده است (۵). در این پژوهش، در ابتدا توزیع داده‌های فاکتور فرساینده باران ترسیم شده و میزان انحراف آن از توزیع نرمال با استفاده از شاخص‌های آماری همچون میانگین، چولگی و سایر پارامترها آماری محاسبه گردید

$$f(x) = \frac{1}{x\beta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} \quad x > 0 \quad [3]$$



شکل ۴. برآورد متغیر با استفاده از کریجینگ عام



شکل ۳. برآورد متغیر با استفاده از کریجینگ عادی

$Z(s)$: متغیر برآورد شده است، S : موقعیت مکانی است
 $m(x,y)$: گرایش جبری و تصادفی (میانگین) و ϵ : خطای همبستگی است.

کریجینگ ساده

در این روش علاوه بر فرض مستقل بودن میانگین مختصات و عدم روند فرض دیگر این است که مقدار میانگین جامعه مشخص است.

کریجینگ عام

در شکل (۴) چگونگی برآورد متغیر توسط روش کریجینگ عام نشان داده شده است. در این شکل m_s مؤلفه قطعیت پذیر و تابع مختصات است در حالی که $f(s)$ یک متغیر تصادفی است که در صورت پیوستگی می تواند ساختار مکانی متغیر ناحیه ای باشد. در کریجینگ معمولی و ساده فرض بر این است که m_s مساوی صفر است. در حالی که در کریجینگ عام این گونه نبوده و m_s تابع روند داده ها است که در این حالت روند باید از داده جدا شود.

تعیین دقت درونیابی و انتخاب روش درونیابی

بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درونیابی انجام شده توسط روش های مورد بررسی در این تحقیق، در ادامه صحت این درونیابی ها مورد ارزیابی قرار گرفت. روش های عمده ای که در بررسی صحت درونیابی استفاده می شود شامل صحت یابی (validation) و صحت یابی سرتاسری است. که در روش اول یک منطقه تعلیمی (Traning) و یک منطقه آزمایش

روش زمین آماری کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می باشد و در مورد آن می توان گفت بهترین تخمین گر خطی نااریب به شمار می رود. از مهمترین ویژگی های کریجینگ آن است که به ازاء هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می کند. در روش کلاسیک (مانند رگرسیون و معکوس وزنی فاصله) معمولاً این چنین نیست (۵). این روش را کریجینگ خطی می گویند (رابطه ۱۰).

$$Z_{vi}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z_{vi} \quad [10]$$

Z_{vi}^* : میزان داده برآورد شده λ_i : وزن نقطه i ام، که مجموع آن ها در همه نقاط برابر یک می باشد. Z_{vi} : میزان داده اندازه گیری شده است.

انواع کریجینگ براساس مشخصات ساختار مکانی

کریجینگ معمولی (Ordinary kriging)

در این حالت مقدار میانگین مستقل از مختصات ولی مقدار آن مجهول است (رابطه ۱۱). این روش بیشتر در محل های خط الراس و خط القعر و در مواردی که تغییرات در دو طرف یک مکان متفاوت است به کار می رود به عبارت دیگر زمانی از این روش استفاده می شود که مقدار میانگین (m) ناشناخته باشد. در شکل (۳) چگونگی برآورد متغیر نسبت به میانگین در روش کریجینگ عادی نشان داده شده است.

$$Z(S) = m(s) + \epsilon(s) \quad [11]$$

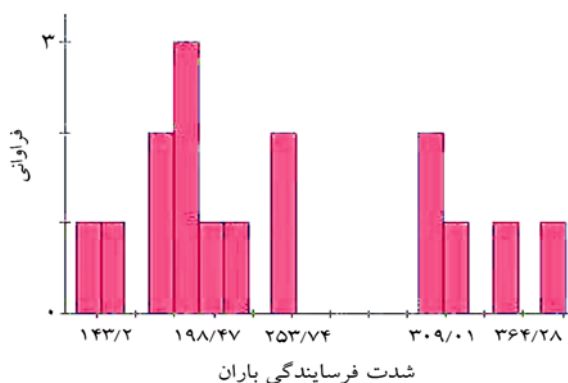
جدول ۱. میزان شاخص فرساینده‌گی برای ایستگاه‌های شاهد

نام ایستگاه	P (میلی‌متر)	F	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ y ⁻¹)
ارکواز	۶۴۳/۵۰	۱۱۶/۵۴	۳۴۱/۰۲
صالح‌آباد	۳۶۳/۷۰	۸۷/۶۳	۱۸۷/۵۵
سراب‌کلان	۴۸۱	۸۷/۱۷	۱۸۵/۴۶
شهید طالقانی	۴۷۷/۹۰	۸۱/۳۱	۱۶۰/۱۸
طولاب	۵۲۲/۵۰	۹۶/۸۶	۲۳۱/۵۱
قلندرعلیا	۴۹۹/۵۰	۸۷/۴۸	۱۸۶/۸۸
میشخاص	۵۹۰/۲۰	۱۱۲	۳۱۳/۸۳
کارزان	۴۹۴	۸۵/۸۶	۱۷۹/۶۳
گناباد	۴۷۴	۸۶/۷۴	۱۸۳/۵۵
درگه	۷۴۷/۴۰	۱۲۰/۲۸	۳۶۴/۲۸
فجر	۴۷۷/۷۰	۸۹/۵۴	۱۹۶/۲۵
سیاه‌آب	۴۸۶	۹۳/۷۲	۲۱۶/۰۴
گل‌گل	۵۹۷	۱۱۰/۹۰	۳۰۷/۴۴
گلان	۳۴۴/۷۰	۷۷/۱۱	۱۴۳/۲۰
ایلام	۵۹۷/۷۰	۱۱۱/۴۴	۳۱۰/۵۵
اما	۵۱۱/۵۰	۹۶/۷۲	۲۳۰/۸۳

جدول ۲. خصوصیات آماری داده‌ها قبل از تبدیل لوگ

نرمال و بعد از تبدیل لوگ نرمال

چولگی	انحراف معیار	میانگین	تعداد	توزیع داده
۰/۶۱	۷۰/۱۱	۲۳۳/۶۳	۱۶	بدون تبدیل
۰/۳۴	۰/۲۸	۵/۴۱	۱۶	لوگ نرمال



شکل ۵. توزیع اولیه داده‌ها

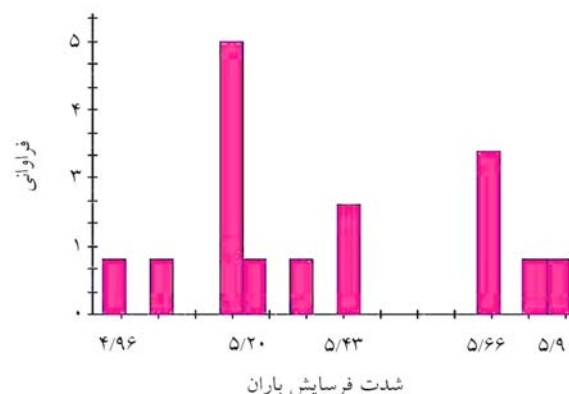
انتخاب می‌شود. در ابتدا برای منطقه تعلیمی رابطه درونیابی به دست می‌آید سپس برای منطقه آزمایش به کار می‌رود و میزان دقت برآورد محاسبه می‌گردد (۲۱). بر خلاف آن در روش صحت‌یابی سرتاسری که در این تحقیق استفاده شده است بدین گونه عمل می‌شود که تمام داده‌ها در ایستگاه‌های شاخص حذف گردیده و سپس بر اساس مدل درونیابی تمامی داده‌های ایستگاه‌های شاخص برآورد می‌گردند که تفاوت بین مقدار واقعی و مقدار برآورد شده در ایستگاه‌های شاخص را خطای برآورد گویند. که در ادامه پایین‌ترین میزان مربع میانگین ریشه خطای باقی مانده (رابطه ۱۲)، برای انتخاب بهترین روش درونیابی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۱۴).

$$RMS = \frac{\sum (X - X_i)^2}{n} \quad [12]$$

X: مقدار مشاهده شده، X_i: مقدار برآورد شده و n: تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

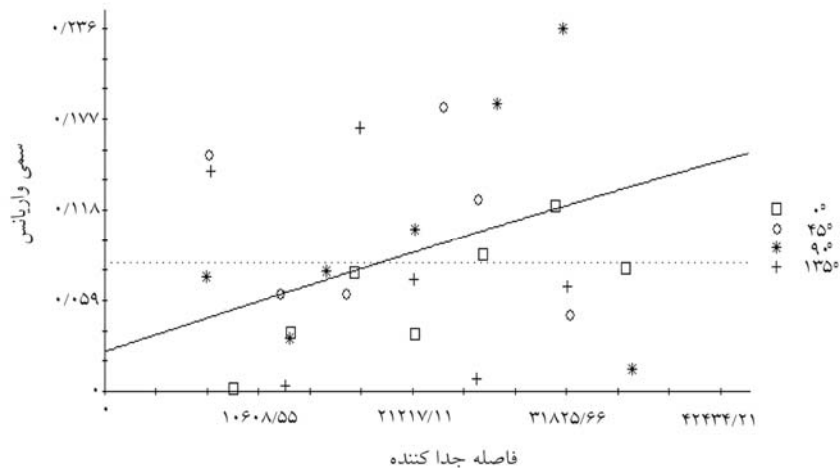
نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرساینده‌گی باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از رابطه فورنیر (۳۱) در جدول ۱ ارائه گردیده است. نتایج پارامترهای آماری مربوط به فاکتور فرساینده‌گی باران در جدول ۲ ارائه شده است. هیستوگرام فراوانی داده‌ها (شکل ۵) و مقایسه لوگ نرمال، به منظور نرمال کردن آن‌ها، در محیط نرم افزار GS⁺ در جدول ۲ و شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۴. توزیع داده‌ها پس از تبدیل با لوگ نرمال

که با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام کروی با میزان $0/10$ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درونیابی استفاده گردید. میرموسوی و همکاران (۱۲) جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در استان اصفهان روش کریجینگ معمولی با واریوگرام کروی را روش بهتری نسبت به سایر روش‌های زمین آماری کریجینگ معرفی می‌کنند. همچنین اخوان و همکاران (۱) در برآورد ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین آمار از واریوگرام کروی استفاده نمودند. واریوگرام کروی برازش شده بر داده‌ها در شکل ۶ مشاهده می‌گردد. با توجه به اینکه واریوگرام در تمام جهات یک روند را نشان می‌دهد لذا ناهمسانگردی در منطقه مشاهده نگردید.

در این تحقیق برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های فرسایندهگی باران از ترسیم واریوگرام استفاده شد. نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام‌های مختلف در جدول ۳ مشاهده می‌گردد. در ادامه واریوگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به صورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام استفاده گردید (C_0/C) (۴). اگر نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام کمتر از $0/25$ باشد بین داده‌ها همبستگی مکانی قوی وجود دارد. اگر این نسبت بین $0/25$ تا $0/75$ باشد میزان همبستگی مکانی متوسط بوده و اگر بیش از $0/75$ درصد باشد همبستگی مکانی بین داده‌ها کم بوده یا همبستگی وجود ندارد (۶). به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب نوع واریوگرام استفاده گردید.



شکل ۶. واریوگرام کروی برازش شده به داده‌ها

جدول ۳. پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف واریوگرام به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده

مدل	C_0	C	C_0/C
کروی	0/26	0/23	0/10
نمایی	0/04	0/23	0/17
خطی	0/03	0/23	0/14
گوسین	0/07	0/23	0/31

جدول ۴. نتایج حاصل از صحت سنجی سرتاسری برای سه روش کریجینگ

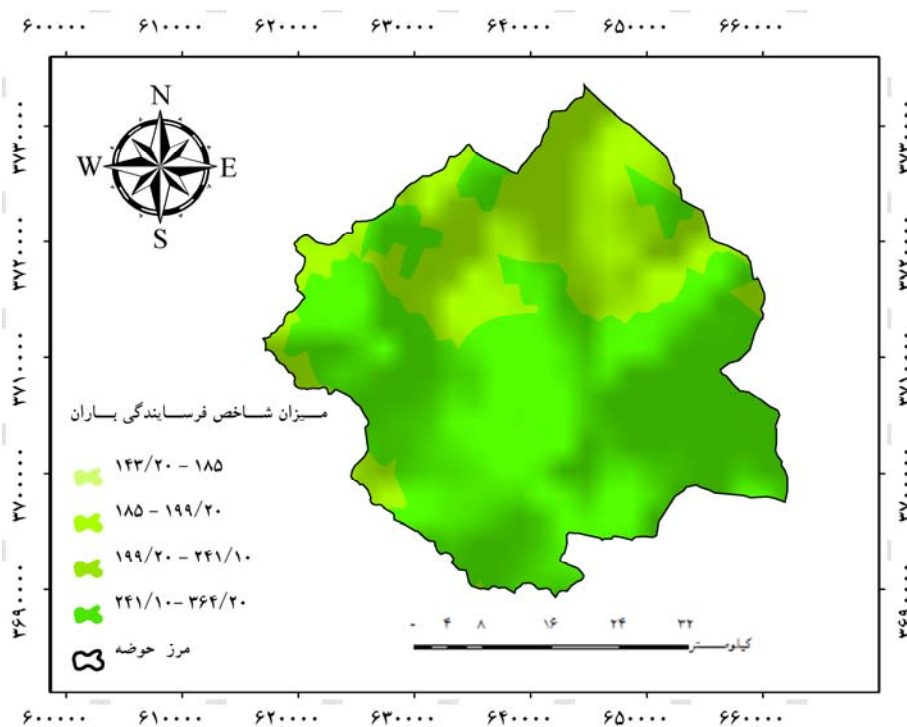
روش	میانگین خطا برآورد	مربع میانگین ریشه خطا برآورد (RMS)	معدل خطا استاندارد، خطای برآورد	میانگین استاندارد شده خطا برآورد	مربع میانگین ریشه خطا برآورد استاندارد شده (RMS)
کریجینگ عام	4/58	73/03	72/87	0/05	1
کریجینگ ساده	0/69	67/92	66/94	0/01	1
کریجینگ معمولی	4/91	72/88	72/40	0/02	1

برآورد کم‌تر از حد انتظار و اگر مربع میانگین ریشه خطا کوچکتر از میانگین خطای استاندارد باشد برآورد بیش از حد انتظار است (۲۱). با مقایسه مربع میانگین ریشه خطاء با میانگین خطاء در داده‌های به دست آمده از صحت‌یابی سرتاسری در روش کریجینگ ساده ($66/94 > 67/92$) و در کریجینگ عام ($72/87 > 73/03$) و معمولی ($72/88 > 7/04$)، برآورد کم‌تر از حد انتظار است.

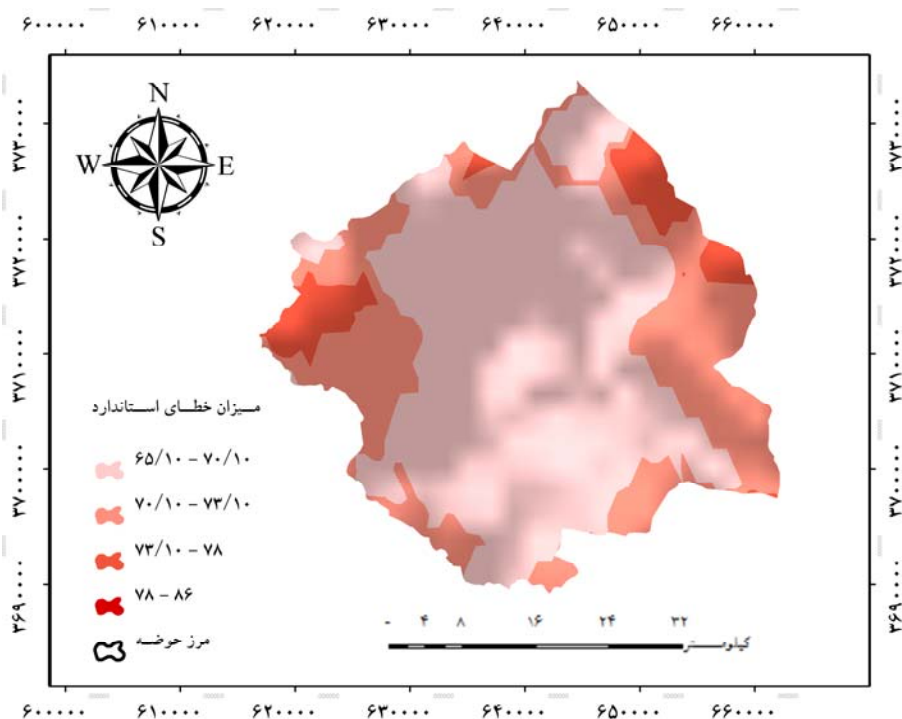
از ویژگی‌های مهم روش زمین آمار کریجینگ محاسبه میزان خطای برآورد است. با استفاده از این ویژگی می‌توان میزان خطای استاندارد شده حاصل از برآورد روش کریجینگ را در سطح منطقه مدل‌سازی کرد. در شکل ۸ میزان خطای استاندارد حاصل از روش کریجینگ ساده با استفاده از نرم افزار ژئواستاتستیک مشاهده می‌گردد. برای بررسی نحوه توزیع خطا استاندارد با تغییرات ارتفاع به صورت تصادفی ۲۰۰ نقطه از منطقه انتخاب گردید و با استفاده از رابطه رگرسیونی، همبستگی بین ارتفاع و میزان خطای استاندارد شده در این ۲۰۰ نقطه مورد ارزیابی قرار گرفت. که میزان ضریب همبستگی به دست آمده بین ارتفاع و خطای استاندارد شده برای ۲۰۰ نقطه تصادفی برابر با ۰/۳۳ بود.

به طور کلی اگر برآورد داده‌ها بدون انحراف باشد میانگین خطای برآورد به صفر نزدیک‌تر می‌شود و هر چه فاصله بیشتر شود میزان انحراف در درون‌یابی نیز بیشتر می‌شود البته این وابسته به مقیاس داده‌های اندازه‌گیری شده است (۲۲). همچنین این امر در مورد میانگین استاندارد خطای برآورد شده نیز صدق می‌کند. از طرف دیگر نیز پایین‌ترین مربع میانگین ریشه خطاء بهترین برآورد را خواهد داشت. همانطور که در نتایج ارزیابی دقت روش‌های مورد بررسی آمده است (جدول ۴)، روش کریجینگ ساده با پایین‌ترین میزان میانگین خطای برآورد (۰/۰۱) و مربع میانگین ریشه خطاء (۶۷/۹۲) بهترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش ارزیابی شد. در نهایت با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ ساده و واریوگرام کروی در محیط نرم Arc GIS 9.3 و با استفاده از اکستنشن ژئواستاتستیک (Geostatistic) نحوه توزیع فاکتور فرسایندهگی باران مدل گردید (شکل ۷).

برای تشخیص برآورد بیش از انتظار و کمتر از انتظار در این پژوهش میزان مربع میانگین ریشه خطا با میانگین خطا مقایسه گردید. این رابطه بدین صورت است که اگر مربع میانگین ریشه خطا بیشتر از میانگین خطای استاندارد باشد



شکل ۷. نقشه توزیع فاکتور فرسایندهگی باران با استفاده از روش کریجینگ ساده



شکل ۸. توزیع خطای استاندارد شده حاصل از روش کریجینگ ساده

وابسته است. البته در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار از قبیل ارتفاع، جهت شیب و سایر پارامترهای دیگر در بالابردن دقت برآورد حاصل از درونیابی‌های انجام شده مؤثر است. از جمله موارد دیگری که برای بهبود درونیابی‌های انجام شده می‌توان نام برد مقایسه تعداد بیشتری مدل‌های واریوگرام تجربی و انتخاب واریوگرامی است که بهترین همبستگی را نشان دهد (در این تحقیق از چهار مدل واریوگرام مختلف استفاده شد). در صورت وجود ایستگاه‌های بارندگی بیشتر می‌توان دقت درونیابی را نیز افزایش داد.

منابع مورد استفاده

۱. اخوان، ر.، م. زبیری، ق. ا. زاهدی امیری، م. نمیرانیان و د. ماندالاز. ۱۳۸۵. بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین آماری. مجله منابع طبیعی. ۵۹ (۱): ۸۹-۱۰۱.
۲. ایوبی، ش. ا. و م. ح. علیزاده. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روش زمین آمار و GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مهر سبزوار). نشریه دانشکده منابع طبیعی. ۶۰ (۲): ۳۶۹-۳۸۲.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که انواع روش‌های زمین آماری کریجینگ با در نظر گرفتن خود همبستگی مکانی داده‌ها به خوبی قابلیت تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارند. همچنین واریوگرام‌های مورد استفاده در این تحقیق به خوبی نشان دادند که ترسیم واریوگرام علاوه بر اثبات همبستگی مکانی بین داده‌ها فرسایندگی باران، قابلیت مدل کردن تغییرات همبستگی مکانی در جهت‌های مختلف را نیز دارند. قابلیت انتخاب واریوگرامی که همبستگی مکانی بین داده‌ها را بهتر ترسیم می‌کند سبب گردید که سطح با دقت بالاتری مدل گردد. از مزیت‌های دیگر تلفیق روش زمین آماری کریجینگ در سیستم اطلاعات جغرافیایی آگاهی یافتن از نحوه برآورد داده‌ها با میزان برآورد مورد انتظار بود که هر سه روش کریجینگ در این تحقیق میزان برآوردی کمتر از حد انتظار داشتند. همچنین ضریب همبستگی به دست آمده (۰/۳۳) بین ارتفاع و میزان خطای استاندارد شده به خوبی نشان دهنده این موضوع است که برآورد حاصل از روش کریجینگ بیش از آنکه به تغییرات ارتفاع وابسته باشد به میانگین و همبستگی مکانی بین داده‌ها

۳. بقائی، ا. ح.، خادمی، و. ج. محمدی. ۱۳۸۶. تجزیه و تحلیل زمین آماری تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو قطب صنعتی اصفهان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴ (۲): ۱۱-۲۰.
۴. حبشی، ه.، س. م. حسینی، ج. محمدی و ر. رحمانی. ۱۳۸۵. کاربرد زمین آمار در مطالعات خاک‌های مناطق جنگلی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۴ (۱): ۱۸-۲۸.
۵. حسنی پاک، ع. ۱۳۸۶. زمین آمار. دانشگاه تهران. ۳۸۰ صفحه.
۶. خداکریمی، ل.، ع. سفیانیان، ا. محمدی توفیق. و ن. ا. میرغفاری. ۱۳۹۰. بررسی غلظت عناصر سنگین مس، روی و آرسنیک خاک با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن و خونجین- تلخاب در استان همدان). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی. ۲ (۱): ۷۹-۸۹.
۷. دلبری، م.، م. ح. مهدیان و م. خیاط خلقی. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های زمین آمار در برآورد هدایت هیدرولیکی خاک در مناطق شیب آب و پشت آب پایین دشت سیستان. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۵ (۱): ۱-۱۲.
۸. شعبانی، ا.، م. شاه بختی. و ر. ع. عباس پور. ۱۳۹۰. مدل سازی توزیع آلاینده‌های جوی در کلان شهر تهران با استفاده از روش‌های آماری و زمین آماری. همایش ژئوماتیک ۹۰ سازمان نقشه برداری کشور.
۹. فرجی سبکبار، ح. ع. و ق. عزیزی. ۱۳۸۵. ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی مکانی در حوزه کارده مشهد. پژوهش‌های جغرافیایی. ۵۸ (۱): ۱-۱۵.
۱۰. کریمی نظر، م.، ا. فخریه، س. فیض نیا، ع. راشکی و س. ج. میری سلیمان. ۱۳۸۸. ارزیابی برخی روش‌های زمین آمار در برآورد سرعت فرسایش بادی، در دشت سیستان. مجله منابع طبیعی ایران. ۶۲ (۳): ۴۰۵-۴۱۷.
۱۱. متین فر، ح. ر.، ا. شعبانی. و س. عزیزی قلاتی. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی عناصر غذایی خاک به کمک روش‌های زمین آماری (مطالعه موردی: دشت سیلاخور). دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار فرصت‌ها و چالش‌های پیش‌رو و ۱۱ و ۱۲ اسفند ماه.
۱۲. میر موسوی، س. ح.، ا. مزیدی و ی. خسروی. ۱۳۸۹. تعیین بهترین روش زمین آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان اصفهان). مجله فضای جغرافیایی. ۱۰ (۳۰): ۱۰۵-۱۲۰.
۱۳. میثاقی، ف. و ک. محمدی. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین آمار و مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله علمی کشاورزی. ۲۹ (۴): ۱-۱۳.
۱۴. وفاخواه، م.، م. محسنی ساروی، م. مهدوی و س. ک. علوی پناه. ۱۳۸۷. کاربرد زمین آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزه آبخیز اورازان. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۲ (۴): ۴۹-۵۵.
15. Arekhi, S., Y. Niazi and A. M. Kalteh. 2010. Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS techniques: a case study, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. http://waesearch.kobv.de/uid.do?query=rss_feeds_667456
16. Ferro, V., G. Giordano and M. Lovino. 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrol Sci. J.* 36 (6): 549-564.
17. Gitas, L. Z., k. Douros, C. Minakou, G. N. Silleos and C. G. Karydas. 2009. Multitemporal soil erosion risk assessment In N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSesl eProceedings* 8.
18. Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into thespatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*. 228: 113-129.
19. Holawe, F. and R. Dutter. 1999. Geostatistical study of precipitation series in Austria. time and space *Journal of Hydrology*. *Journal of Hydrology*. 219: 70-82.
20. Irvem, A., F. Topaloglu and V. Uygur. 2007. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*. 336: 30- 37.
21. Johnston, K. J. 2000. Using Arcgis geostatistic analyst. New York:

- equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). *Environ Geol.* 50: 1129-1140.
31. Renard, K. G. and J. Foster. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *Journal of hydrology.* 157 (1/4): 287-306.
 32. Renard, K. G. and J. Foster. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. 703.*
 33. Renard, K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies and J. P. Porter. 1991. RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 46 (1): 30-33.
 34. Renard, K. G. and J. R. Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *Journal of hydrology.* 157: 287-306.
 35. Rosewell, C. 1996. A robust estimator of the R factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans Am Soc Agric Eng.* 39 (2):559-561.
 36. Szolgay, J., J. Parajka, S. Kohnova and K. Hlavcova. 2009. Comparison of mapping approaches of design annual maximum daily precipitation. *Atmospheric Research.* 92: 289-307.
 37. Teegavarapu, Ramesh S. V., and V. Chandramouli. 2005. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation, of missing precipitation records. *Journal of Hydrology.* 312 (1-4): 191-206.
 38. Wischmeier, W. H. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil and Water Conservation.* *Agriculture Handbook.*
 39. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook.* Vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC. 58 p.
 - ESRI.KOULI, M.S., Soupios, P. and F. Vallianatos. 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete. *Environ Geo.*
 22. Kouli, M., P. Soupios and F. Vallianatos. 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chain, Northwestern Crete, Greece. *Environment Geology.* 57: 483-49.
 23. Lal. R. 1990. *Soil erosion in the tropics. Principles and Management.* McGraw-Hill.
 24. Li, H., X. Chen, J. L. Kyoung, X. Cai and S. Myung. 2010. Assessment of soil erosion and sediment yield in Liao watershed, Jiangxi Province, China, Using USLE, GIS, and RS *Journal of Earth Science,* 21 (6): 941-953.
 25. Lim, K. J., J. Choi, K. Kim, M. Sagong and B. A. Engel. 2003. Development of sediment assessment tool for effective erosion control (SATEEC) in small scale watershed. *Trans Korean Soc Agric Eng.* 45(5):85-96.
 26. Lu, D. L. G., G. S. Valladares, and M. Batistella. 2004. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: Using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degrad Dev,* 15:499-512.
 27. Martin, A., J. Gunter and J. Regens. 2003. Estimating erosion in a revering watershed, Bayou Liberty-Tchefuncta River in Louisiana. *Environ Sci Pollut Res,* 4:245-25.
 28. Mingxin, M. E. N., Y. U. Zhenrong, and X. U. Hao. 2008. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province, China, *Front. Agric. China,* 2(3): 281-289.
 29. Pandey, A. Chowdary, V. M. and B. C. Mal. 2009. Sediment yield modelling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. *J. Paddy Water Environ.* 7(2):105-113.
 30. Onori, F., P. D. Bonis and S. Grauso. 2006. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss



Modeling rainfall erosivity factor using geostatistic techniques (Case study: Ilam Dam Watershed)

A. Shabani^{1*}, H. M. Matinfar², S. Arekhi³, S. Rahimi Harabadi⁴

1. MSc. Student of Remote sensing and GIS, College of Cartography, Tehran University
2. Assis. Prof. College of Agriculture, Lorestan University
3. Assis. Prof. College of Agriculture and Natural Resources, Ilam University
4. MSc. Student of Geomorphology, College of Geomorphology, Tehran University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 April 2011
Accepted 14 September 2011
Available online 17 October 2011

Keywords:

Geostatistic
Kriging
Soil erosion
Ilam dam watershed

ABSTRACT

Soil erosion is one of the factors that threatened human life. Measuring soil erosion is always difficult. Lack of hydrometric stations in the majority of watersheds, to estimate soil erosion and deposition face with difficult. However, many researchers have tried to present empirical relationships in favor of weather conditions for the estimation of soil erosion and sedimentation. Among them, universal soil loss equation and its revised version are including models that have application worldwide. One of the main parameters of this model is a rainfall erosivity factor that has the direct relationship with rainfall intensity. In this study, 22-year periods related to 16 climatology stations in the Ilam dam watershed were used for preparing rainfall erosivity factor map. After calculating a rainfall erosivity factor (R factor) for all stations using kriging-based geostatistic techniques and geostatistic extension in ARC GIS 9.3 environment, the map of R for the whole watershed was prepared. Here, we have compared three kriging techniques: ordinary, simple, and universal Kriging. The obtained results show that simple kriging with a 67.92 Root Mean Square Error (RMSE) is the most proper interpolation technique. Furthermore, in compare to the RMSE, the Standard Error (SE) for calculating the amount of expectations, the simple, ordinary and universal kriging had underestimated than the expectation.

* Corresponding author e-mail address: shabani.afshin@ut.ac.ir