



کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدلینگ فاکتور فرساینده باران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گابریک - جنوب خاوری استان هرمزگان)

پروانه فریدی^۱، پیمان رضائی^۲، منصور قربانی^۳ و محمد کاظمی^۴

۱ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان
parvaneh.faridi@yahoo.com

۲ - استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان

۳ - استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان

۴ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرمزگان

چکیده

چنانچه سایر عوامل مؤثر در فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان تلفات خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده باران است. تاکنون شاخص‌های مختلفی در دنیا ارائه شده‌اند که بسته به منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه‌گیری متفاوت از هم هستند. با مرور مطالعات و تحقیقات انجام شده در سطح جهان و با توجه به محدود بودن ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار، شاخص اصلاح شده فورنیه که براساس آمار بارندگی ماهانه و سالانه قابل محاسبه است، مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور شاخص فوق در ۲۲ ایستگاه با ۱۱ سال آمار بارندگی برای حوزه آبخیز گابریک محاسبه شد. پس از محاسبه شاخص فرساینده باران برای ایستگاه‌های مورد نظر، با استفاده نرم‌افزارهای GS+1.1.1، اکستنشن ژئواستاتستیک و روش زمین‌آمار مبتنی بر کریجینگ در محیط ESRI®ArcMap™10.0 نقشه فاکتور فرساینده باران برای این حوزه ترسیم گردید. همچنین در این تحقیق سه نوع روش کریجینگ شامل کریجینگ ساده، معمولی و عمومی مورد استفاده قرار گرفت. در پایان مشاهده گردید که روش کریجینگ معمولی با مربع میانگین ریشه خطا ۳۹۴/۴۲ از بین روش‌های به کار گرفته شده مناسب‌ترین روش درون‌یابی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، فرساینده باران، کریجینگ، گابریک

Application of GIS in Modeling rainfall erosivity factor (Case Study: Gabric Watershed- Hormozgan province East South)

Parvaneh Faridi¹, Payman Rezaee², Mansor Ghorbani³, Mohamad Kazemi⁴

1- M.Sc. Student of Sedimentology and Sedimentary Petrology, Faculty of Science, University of Hormozgan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Hormozgan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Hormozgan, Iran

4- PhD Student of Watershed Management, Faculty of Agriculture, University of Hormozgan, Iran

Abstract

If other factors are held constant erosion, soil loss rate is directly proportional to the amount of rain erosion. Various measures have been proposed so far in the world, depending on geographic location, scale, local conditions and the type of measurement are different. A review of studies conducted worldwide and the limited rain gauge equipped, modified Fournier index is calculated based on the statistics of monthly and annual rainfall, were used. Therefore, the index of the 22 stations with 11 years of rainfall statistics was calculated for the Watershed Gabric. After rain erosion index for the desired station using the software GS+1.1.1, Geostatistical extensions based on geostatistical method kriging ESRI®ArcMap™ 10.0 in rain erosion factor map was drawn to this area. In this study, we have compared three kriging techniques: simple, universal and ordinary kriging. The obtained results show that ordinary kriging with a 394.42 Root Mean Square Error (RMSE) is the most proper interpolation technique.

Keywords: Gabric, Geostatistic, Kriging, Rainfall erosivity

۱- مقدمه

فرساینده‌گی باران، نیروی محرکه یا توان عوامل فرسایش‌پذیر در جداسازی و انتقال ذرات خاک در ارتباط با فرسایش آبی است (Lal & Elliot, 1994). قدرت فرساینده‌گی باران نقش زیادی در فرسایش خاک داشته و می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش در مناطق مورد نظر باشد (Morgan, 1995). شاخص‌های فرساینده‌گی باران را می‌توان در قالب دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی تقسیم‌بندی کرد. یکی از محدودیت‌های شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی نیاز داشتن به داده‌های بارندگی با فواصل زمانی کوتاه مدت بوده که از باران‌نگار حاصل می‌شود. چنین آماری در بیشتر نقاط دنیا به خصوص برای دوره‌های زمانی طولانی مدت وجود ندارد و فرایند محاسبه آن‌ها نیز وقت‌گیر و مشکل است (Silva, 2004). از آنجایی که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود می‌باشند، اغلب از مقادیر متوسط بارندگی ماهیانه و سالیانه، جهت برآورد شاخص فرساینده‌گی باران استفاده می‌شود (Martin et al., 2003; Lal, 1990; Kouli et al., 2009; Renard & Freimund, 1994).

با توجه به تغییرهای قابل ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کم بودن ایستگاه‌های باران‌سنجی برای ثبت میزان بارندگی روزانه از سوی دیگر، ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی در زمان و مکان، اجتناب‌ناپذیر است. تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی در سطح یک منطقه و تبیین چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، برای برآورد توزیع مکانی بارش ضروری است. برای برآورد و تخمین متغیرهایی از این دست روش‌های مختلفی وجود دارد. به عنوان نمونه می‌توان روش‌های کلاسیک، همچون تیسن و میانگین حسابی را نام برد. همه این روش‌ها از نظر محاسبه‌ها، سریع و آسان می‌باشند، ولی به دلایلی از جمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین مشاهده‌ها، از دقت کافی برخوردار نیستند، البته روش‌های دیگری نیز وجود دارند که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها اهمیت زیادی دارند. از جمله این روش‌ها می‌توان روش زمین‌آمار را نام برد. در این شیوه، نخست بودن یا نبودن ساختار مکانی بین داده‌ها بررسی می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار مکانی، داده‌ها تحلیل می‌گردند؛ البته ممکن است نمونه‌های مجاور با فاصله معینی در قالب ساختار مکانی به هم وابسته باشند، در این حالت، بدیهی است که میزان تشابه مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیشتر است؛ زیرا در صورت وجود ساختار مکانی، تغییرهای ایجاد شده در فضای معین، امکان بیشتری را برای تأثیرگذاری بر فضاهای نزدیک به خود در مقایسه با فضاهای دورتر دارند (لشنی‌زند، ۱۳۸۳).

تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه درون‌یابی داده‌های اقلیمی در جهان و ایران صورت گرفته است. نگاین و همکاران (۱۹۹۸) در آنالیز درون‌یابی بارندگی در منطقه سانتا باربارا از دو روش کریجینگ و فاصله معکوس برای درون‌یابی اطلاعات استفاده کردند. در این مطالعه اطلاعات بارندگی برای ۶۰ نقطه به دست آمد و با محاسبه میزان خطای باقیمانده نسبی، روش رگرسیون چندگانه نتایج بهتری نسبت به روش فاصله معکوس برای درون‌یابی بارندگی در برداشت. گوارتس (۲۰۰۰) از سه روش معکوس وزنی فاصله، پلیگون تیسن و کریجینگ در ۳۱ ایستگاه هواشناسی ایالت میشیگان برای مدل‌سازی بارندگی استفاده کرد که در این میان روش کریجینگ بالاترین دقت را داشته است. دسکروکس و همکاران (۲۰۰۱) به مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی بارندگی در منطقه شمال غرب مکزیکو پرداختند. آن‌ها روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را به عنوان روش‌های بهتر و معمول‌تر برای درون‌یابی و بازسازی داده‌ها معرفی کردند. اونوری و همکاران (۲۰۰۶) در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سیسیل در شمال ایتالیا با استفاده از مدل اصلاح شده جهانی فرسایش خاک، میزان فاکتور فرساینده‌گی باران این مدل را با استفاده از روش کریجینگ درون‌یابی نمودند. مینگزین و همکاران (۲۰۰۸) در محاسبه شاخص فرساینده‌گی باران با استفاده از

زمین‌آمار در استان هبی در چین، نشان دادند 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. کولی و همکاران (۲۰۰۹) در درون‌یابی بارندگی در حوزه چانیا در شمال شرقی یونان روش کریجینگ معمولی را بهترین روش برآورد معرفی کردند. سزولگای و همکاران (۲۰۰۹) روش‌های درون‌یابی نزدیکترین همسایه، معکوس وزنی فاصله و کریجینگ را برای تهیه نقشه ماکزیمم بارندگی سالانه با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال استفاده نمودند و با روش‌های صحت‌سنجی سرتاسری^۱ و تفسیر چشمی صحت آن‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند.

در ایران نیز روش‌های فوق‌الذکر در موارد مختلف در طی دهه گذشته استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: عساکره (۱۳۸۷) با بررسی بارش ۲۶ اسفند ۱۳۷۶ بهترین مدل برای درون‌یابی بارش در ایران را برای این روز، مدل خطی از روش کریجینگ تشخیص داده است. فرجی سبکبار و عزیزی (۱۳۸۵) در ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی مکانی در حوزه کارده مشهد روش تیسن و کریجینگ را از بهترین روش‌ها معرفی می‌کنند. معروفی و همکاران (۱۳۸۸) در ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش در استان همدان نشان دادند روش کریجینگ ساده با مدل دایره‌ای، مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی مقادیر حداکثر بارش و روش‌های کریجینگ معمولی و عادی با مدل گوسین بهترین روش برای درون‌یابی حداقل بارش سالانه می‌باشد. شعبانی و همکاران (۱۳۹۰) برای تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در حوزه آبخیز سد ایلام سه روش کریجینگ شامل کریجینگ ساده، معمولی و عمومی را مورد استفاده قرار دادند که از میان آن‌ها روش کریجینگ ساده برای درون‌یابی مناسب‌تر تشخیص داده شد.

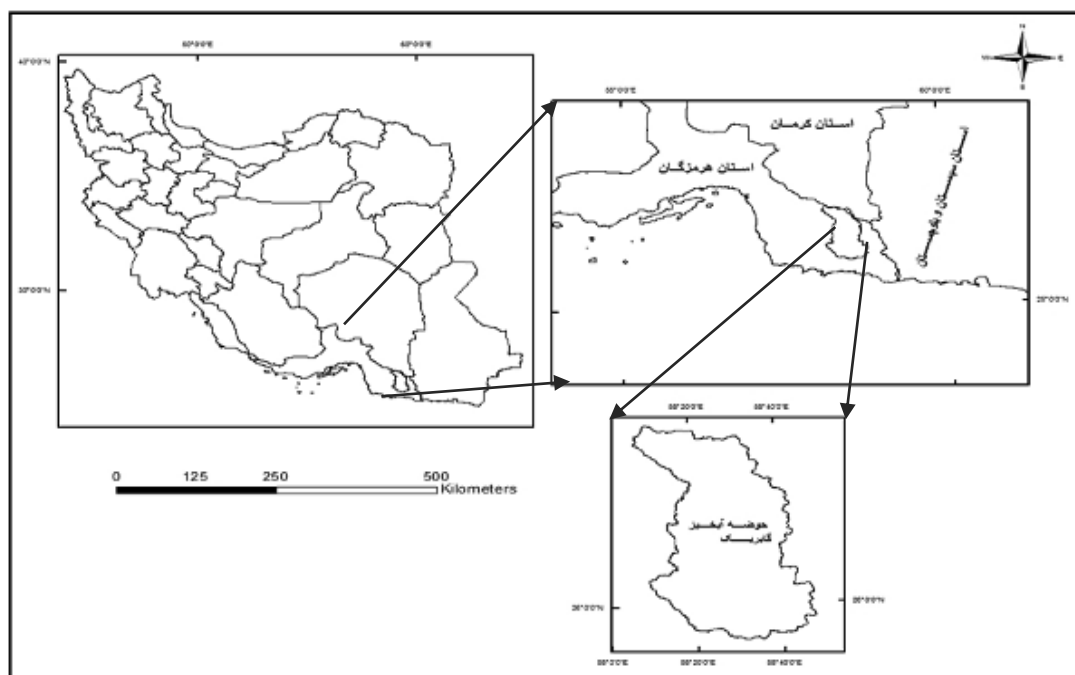
در این تحقیق برای به دست آوردن میزان فاکتور فرساینده‌گی باران ابتدا آمار یک دوره ۱۱ ساله از ۲۲ ایستگاه بارندگی جمع‌آوری شد و با استفاده از شاخص اصلاح شده فورنیه میزان فرساینده‌گی باران برای ایستگاه‌های مورد مطالعه به دست آمد. سپس با مقایسه سه روش مبتنی بر کریجینگ شامل کریجینگ عمومی، ساده و معمولی واریوگرام نمایی مربوط به هر سه روش رسم شده، سپس با استفاده از روش صحت‌سنجی سرتاسری میزان خطای برآورد برای هر سه روش محاسبه گردید و در پایان با توجه به مربع میانگین ریشه خطا (RMSE) بهترین روش برای درون‌یابی استخراج شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گابریک حوزه سد گابریک می‌باشد که مساحت آن بالغ بر ۴۲۹۰/۳۵ کیلومتر مربع می‌باشد. حوزه مورد مطالعه بر اساس سیستم تصویر UTM در زون ۴۰N در عرض جغرافیایی ۲۸° ۵۰' ۲۵" و ۳۸° ۴۷' ۲۶" شمالی و طول جغرافیایی ۵۳° ۶' ۵۸" و ۳۸° ۴۷' ۵۸" شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوزه آبخیز در جنوب خاوری استان هرمزگان با دامنه ارتفاعی بین ۳۸ متر در خروجی رودخانه گابریک تا ۲۱۹۰ متر در قسمت شمالی حوزه قرار دارد. از لحاظ شرایط اقلیمی، این منطقه جزو مناطق خشک، نیمه‌خشک تا فراخشک می‌باشد. رژیم بارندگی در منطقه مدیترانه‌ای بوده و اصولاً فصل بارش متمرکز بر فصل زمستان است. میزان بارندگی سالانه از ۱۰۰ میلی‌متر در سال تا حدود ۳۲۵ میلی‌متر در سال در ارتفاعات شمالی می‌باشد. رژیم دمایی منطقه تحت تأثیر توده‌های هوایی و ارتفاع بوده و میانگین دمای متوسط سالانه ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حوزه مورد بررسی جزئی از زون مکران می‌باشد که این زون در جنوب شرق ایران واقع گردیده است. از نقطه نظر مطالعات چینه‌شناسی، در این حوزه عمدتاً

رخساره‌های آذرین و رسوبی متعلق به مزوزوئیک و سنوزوئیک به صورت ساختمان‌های چین خورده و گسل خورده و رخساره‌های رسوبی متعلق به دوره کواترنر توسعه و پراکندگی دارند.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز گابریک در ایران و استان

۲-۲- فاکتور فرساینده باران

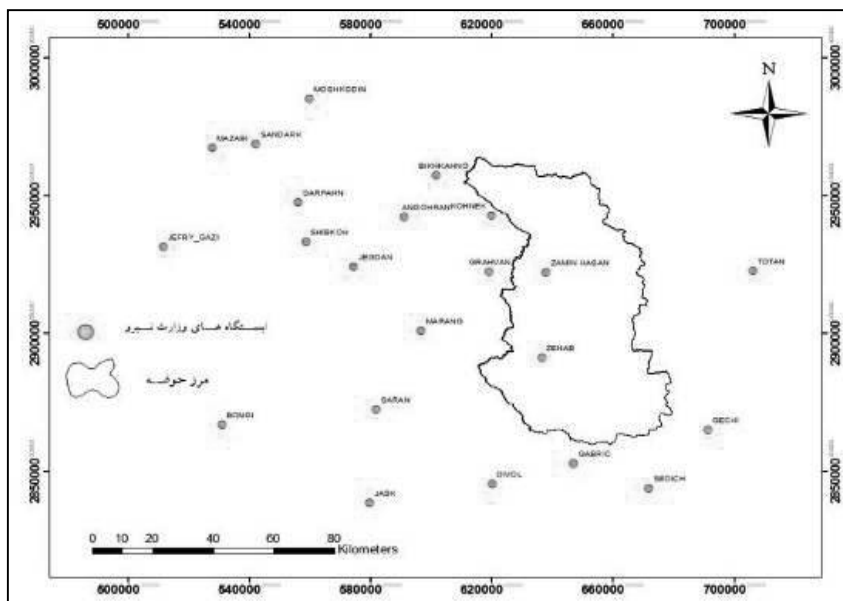
لازمه محاسبه شاخص فرساینده باران مبتنی بر شدت، وجود باران نگار است. متأسفانه در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور، از جمله حوزه‌های آبخیز استان هرمزگان، تعداد ایستگاه‌های مجهز به باران نگار به اندازه کافی نیست. در صورت عدم وجود چنین ایستگاه‌هایی، معمولاً از شاخص‌های مبتنی بر مقادیر بارش‌های سالانه (Renard et al., 1996; 1991; Rosewell, 1996) و ماهانه (Ferro et al., 1991) در معادله‌های جهانی فرسایش خاک و تجدید نظر شده آن استفاده می‌شود. برای محاسبه فاکتور فرساینده باران (R)، از دوره آماری ۱۱ ساله (۱۳۷۹ - ۱۳۹۰) ۲۲ ایستگاه باران‌سنجی استفاده گردید (شکل ۲). از رابطه (۱) شاخص اصلاح شده فورنیه برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه، سپس با جای‌گذاری این شاخص در رابطه (۲) که توسط رینارد و فریمند (۱۹۹۴)، برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده است مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های شاخص برآورد گردید.

$$MFI = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله، p_i متوسط بارندگی (mm) در ماه i ام و P متوسط بارندگی سالانه (mm) است.

$$R = (0.07397 \times MFI^{1.847}) \quad MFI < 55 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$R = (95.77 - 6.081 \times MFI + 0.477 \times MFI^2) \quad MFI \geq 55$$



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های بارندگی مورد مطالعه در منطقه

۳-۲- 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 (حسنی پاک، ۱۳۸۶). در این پژوهش، در ابتدا توزیع داده‌های فاکتور فرساینده باران ترسیم شد و میزان انحراف آن از توزیع نرمال با استفاده از شاخص‌های آماری همچون میانگین، چولگی و سایر پارامترهای آماری محاسبه گردید.

$$f(X) = \frac{1}{X\beta\sqrt{2\pi^e}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln X - \alpha}{\beta}\right)^2\right] \quad X > 0 \quad \text{رابطه (۳)}$$

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

$$\alpha = \frac{\sum \log X_i}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\beta = \frac{\sum \log X_i f_i}{n} \quad \text{رابطه (۵)}$$

۴-۲- واریوگرام

برای تعیین میزان همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه برداری شده و برای 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: رایج‌ترین مدل واریوگرام است که معادله آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[\frac{3}{2} \times \left(\frac{h}{a}\right) - \frac{1}{2} \times \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] \quad \text{رابطه (۶)}$$

این مدل به ازای فواصل کم بین زوج نقاط یعنی در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. اما در فاصله‌های بزرگ‌تر، شیب آن کاهش می‌یابد تا اینکه در شعاع a به مقدار آستانه برسد. مدل نمایی: یکی دیگر از مدل‌های انتقالی رایج است که معادله آن به صورت زیر است:

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad \text{رابطه (۷)}$$

این مدل به طور جانبی به آستانه میل می‌کند. بنابراین شعاع تأثیر فاصله‌ای است که مقدار سمی‌وار یوگرام به ۹۵ درصد آستانه رسیده باشد.

مدل گوسین: مدل گوسین همانند مدل نمایی به طور جانبی به آستانه می‌رسد. ویژگی مشخص مدل گوسین، حرکت سهمی گونه آن در نزدیکی مبدأ و یک نقطه عطف است. معادله آن به صورت زیر است:

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right] \quad \text{رابطه (۸)}$$

مدل خطی: مدل خطی یک مدل انتقالی به حساب نمی‌آید، زیرا فاقد آستانه می‌باشد. معادله آن به صورت زیر است:

$$\delta(h) = \alpha + \beta h^\theta \quad 0 < \theta < 2 \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در این روابط: c حد آستانه، a دامنه تأثیر و h فاصله بین نمونه‌ها است (ثقفیان، ۱۳۹۰).

۲-۵- روش زمین‌آماری کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت بهترین تخمین گر خطی نارایب به شمار می‌رود. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می‌کند. در روش کلاسیک (مانند رگرسیون و معکوس وزنی فاصله) معمولاً این چنین نیست (حسنی پاک، ۱۳۸۶). این روش را کریجینگ خطی می‌گویند (رابطه ۱۰).

$$z_{vi}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times z_{vi} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در این رابطه: z_{vi}^* : میزان داده برآورد شده، λ_i : وزن نقطه i : ام، که مجموع آنها در همه نقاط برابر یک می‌باشد. z_{vi} : میزان داده اندازه‌گیری شده است.

۲-۵-۱- انواع کریجینگ براساس مشخصات ساختار مکانی

۲-۵-۱-۱- کریجینگ معمولی^۱: در این حالت مقدار میانگین مستقل از مختصات ولی مقدار آن مجهول است (رابطه ۱۱). این روش بیشتر در محل‌های خط‌الراس و خط قعر و در مواردی که تغییرات در دو طرف یک مکان متفاوت است به کار می‌رود به عبارت دیگر زمانی از این روش استفاده می‌شود که مقدار میانگین ناشناخته باشد.

$$Z(S) = m(s) + \varepsilon(s) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در این رابطه $Z(S)$: متغیر برآورد شده، $m(s)$: موقعیت مکانی و $\varepsilon(s)$: خطای همبستگی است.

۲-۵-۱-۲- کریجینگ ساده^۲: در این روش علاوه بر فرض مستقل بودن میانگین مختصات و عدم روند فرض دیگر این است که مقدار میانگین جامعه مشخص است.

1 - Ordinary kriging

2 - Simple kriging

۲-۵-۱-۳- کریجینگ عمومی^۱: در این روش $m(s)$ قطعیت‌پذیر و تابع مختصات است در حالی که $\varepsilon(s)$ یک متغیر تصادفی است که در صورت پیوستگی می‌تواند ساختار مکانی متغیر ناحیه‌ای باشد. در کریجینگ معمولی و ساده فرض بر این است که $m(s)$ مساوی صفر است. در حالی که در کریجینگ عام این‌گونه نبوده و $m(s)$ تابع روند داده‌ها است که در این حالت روند باید از داده جدا شود.

۲-۶- تعیین دقت درون‌یابی و انتخاب روش درون‌یابی

بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درون‌یابی انجام شده توسط روش‌های مورد بررسی در این تحقیق، در ادامه صحت این درون‌یابی مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های عمده‌ای که در بررسی صحت درون‌یابی استفاده می‌شود شامل صحت‌یابی^۲ و صحت‌یابی سرتاسری است. که در روش اول یک منطقه تعلیمی^۳ و یک منطقه آزمایش 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 (Johnston, 2000). 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 براساس 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 باقی‌مانده (رابطه ۱۲)، برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (وفاخواه و همکاران، ۱۳۸۷).

رابطه (۱۲)

$$RMSE = \frac{\sum (X - X_i)^2}{n}$$

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

۳- نتایج

نتایج حاصل از محاسبه میزان فرساینده‌گی باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از رابطه اصلاح شده فورنیه و رابطه رنارد و فریموند 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 نرم‌افزار GS+5.1.1 در جدول (۲) و شکل (۶) ارائه شده است. 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 $(C_0/C + C_0)$. نسبت پایین اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام به پیوستگی مکانی متغیرها دلالت دارد و هر چه این نسبت کمتر باشد پیوستگی مکانی داده‌ها بیشتر است (Angulo Martinez et al., 2009). چنانکه در جدول (۳) نشان داده شد حداقل این نسبت در مورد شاخص فرساینده‌گی باران، در مدل نمایشی دیده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که مدل نمایشی از بین مدل‌های برازش داده شده به واریوگرام بهترین مدل برای این شاخص است. میرموسوی و همکاران (۱۳۸۹) جهت تخمین توزیع بارنده‌گی

1 - Universal kriging

2 - validation

3 - Training

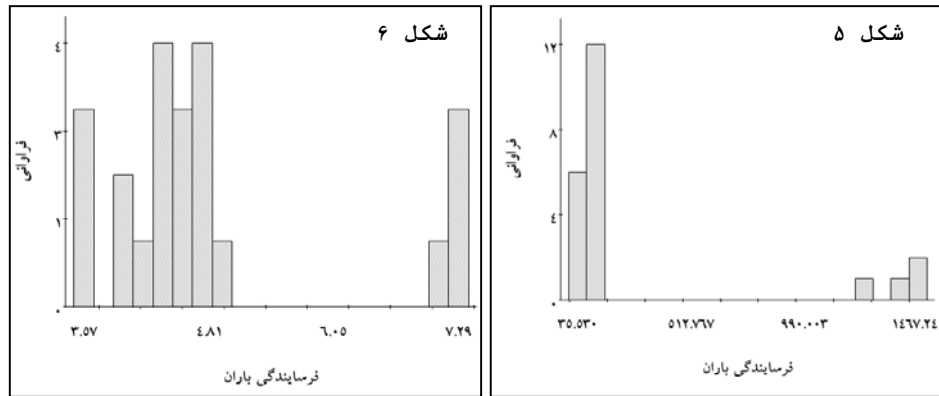
با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در استان اصفهان روش کریجینگ معمولی با واریوگرام کروی را روش بهتری نسبت به سایر روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معرفی می‌کنند.

جدول ۱- محاسبه و برآورد MFI و R برای ایستگاه‌های بارندگی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (utm)	عرض جغرافیایی (utm)	ارتفاع (m)	MFI	R (MJ mm ha ⁻¹ y ⁻¹)
انگهران	۵۹۱۱۳۱	۲۹۴۲۳۳۶	۹۵۰	۵۶/۲۵	۷۳/۴۵
بونجی	۵۳۰۹۰۶	۲۸۶۶۷۹۹	۱۰	۴۲/۰۹	۴/۲۹
بیخ کهنو	۶۰۱۶۳۳	۲۹۵۷۳۶۹	۱۱۱۰	۵۷/۷۵	۷۷/۶۶
توتان	۷۰۶۱۳۴	۲۹۲۲۵۵۹	۵۰۰	۴۱/۴۰	۴/۱۷
جاسک	۵۷۹۶۷۸	۲۸۳۸۴۸۶	۵	۳۵/۳۰	۳/۱۰
جگدان	۵۷۴۵۰۲	۲۹۴۳۲۲۱	۹۱۰	۵۱/۸۴	۶/۳۱
جیفری	۵۱۱۵۴۲	۲۹۳۱۲۷۸	۱۵	۶۰/۷۱	۸۶/۳۴
درپهن	۵۵۶۲۳۱	۲۹۴۷۴۵۶	۴۷۰	۵۳/۴۹	۶/۶۹
دیول (پنهان)	۶۲۰۱۸۴	۲۸۴۵۴۶۸	۱۸	۳۱/۴۵	۲/۵۱
زمین حسن	۶۳۷۹۶۰	۲۹۲۲۲۳۱	۶۶۰	۴۹/۹۷	۵/۹۰
زهاب	۶۳۶۶۲۶	۲۸۹۱۱۶۸	۵۰۰	۴۶/۹۹	۵/۲۶
سدیج	۶۷۱۹۴۱	۲۸۴۳۷۳۱	۱۰	۲۷/۹۶	۲/۰۲
سران	۵۸۱۷۵۴	۲۸۱۷۲۲۴۸	۲۴۰	۳۸/۶۲	۳/۶۶
سندرک	۵۴۲۲۲۶	۲۹۶۸۶۶۲	۲۱۰	۶۳/۰۴	۹۳/۵۰
شیبکوه	۵۵۸۷۲۹	۲۹۳۳۱۹۲	۴۵۰	۴۹/۹۳	۵/۸۹
کهنک	۶۱۹۸۹۴	۲۹۴۲۹۱۲	۹۲۰	۵۴/۲۵	۶/۸۷
گابریک - لیره‌ای	۶۴۷۰۲۹	۲۸۵۲۶۶۲	۱۵	۳۳/۹۶	۲/۸۹
گچی	۶۹۱۴۰۱	۲۸۶۵۰۸۱	۹۵	۲۹/۶۵	۲/۲۵
گرهون	۶۱۹۱۴۵	۲۹۲۲۳۵۰	۸۵۰	۴۴/۰۹	۴/۶۸
مازابی	۵۲۷۷۶۷	۲۹۶۷۴۵۲	۶۰	۵۹/۵۱	۸۲/۷۶
مرنگ	۵۹۶۵۵۹	۲۹۰۰۹۶۲	۳۶۰	۳۹/۴۸	۳/۸۲
مشک‌الدین	۵۵۹۷۵۷	۲۹۸۵۰۳۹	۶۶۰	۶۷/۲۵	۱۰۷/۲۱

جدول ۲- خصوصیات آماری داده‌ها قبل از تبدیل لوگ نرمال و بعد از تبدیل لوگ نرمال

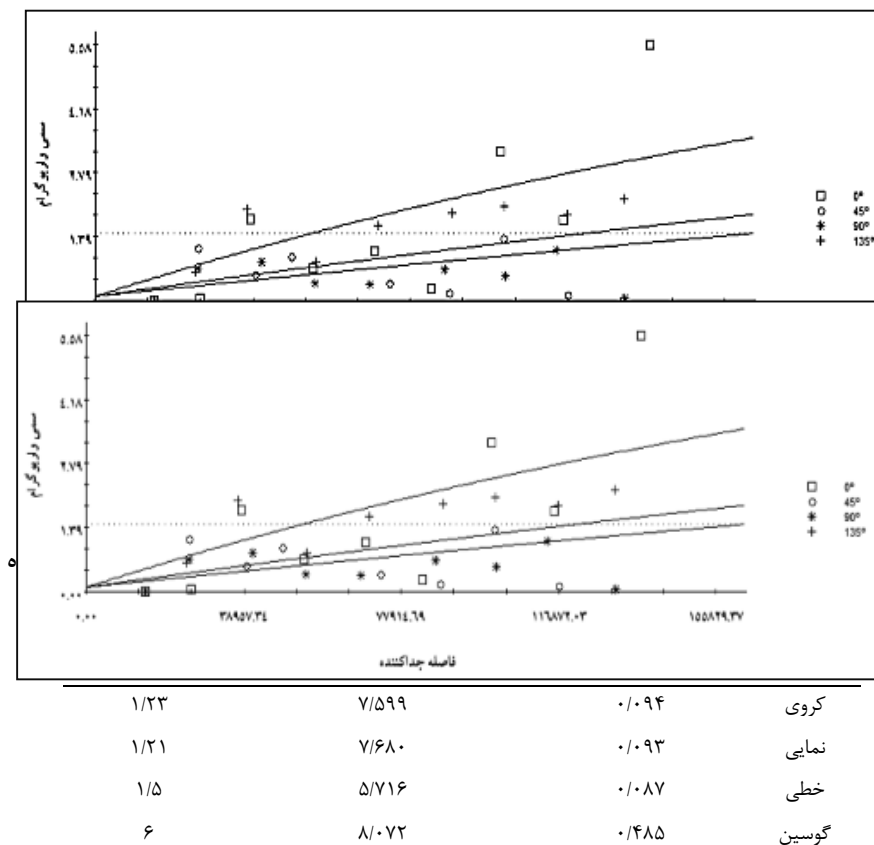
چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	میانگین	تعداد	توزیع داده
۰/۸۳	۱/۶۶	۵۱۳/۶۷	۳۱۷/۸۸۵	۲۲	بدون تبدیل
۰/۱۸	۱/۲۴	۱/۲۰۹	۴/۸۵۷	۲۲	لوگ نرمال



شکل ۶- توزیع داده‌ها پس از تبدیل به لوگ نرمال

شکل ۵- توزیع اولیه داده‌ها بدون تبدیل

همچنین اخوان و همکاران (۱۳۸۵) در برآورد ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین‌آمار از واریوگرام کروی استفاده نمودند. واریوگرام نمایی برازش شده بر داده‌ها در شکل (۷) مشاهده می‌گردد. با توجه به اینکه واریوگرام در تمام جهات یک روند را نشان می‌دهد لذا ناهمسانگردی در منطقه مشاهده نگردید.



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 موضوع وابسته به مقیاس داده‌های اندازه‌گیری شده است (Kouli et al., 2009). همچنین این امر در مورد میانگین استاندارد خطای برآورد شده نیز صدق می‌کند.

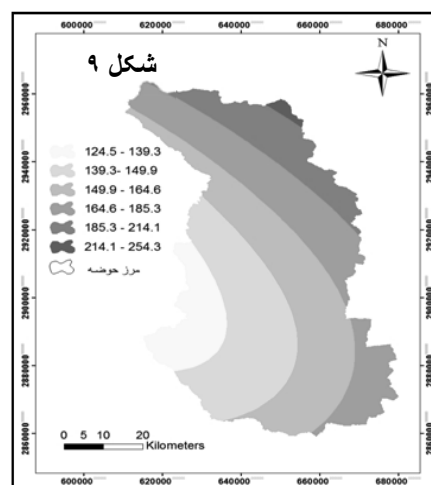
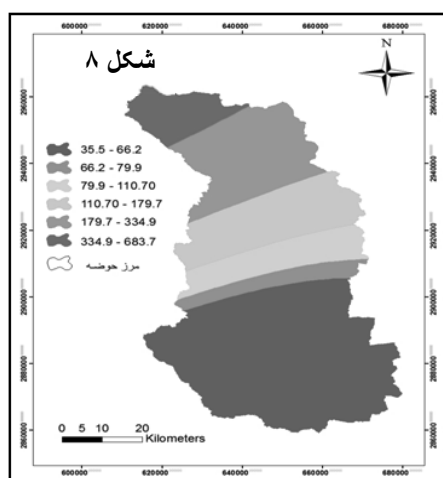
از طرف دیگر نیز پایین ترین مربع میانگین ریشه خطا بهترین برآورد را خواهد داشت. همانطور که در نتایج ارزیابی دقت روش های مورد بررسی آمده است (جدول ۴)، روش کریجینگ معمولی با پایین ترین میزان میانگین خطای برآورد (۰/۰۰۱۷) و مربع میانگین ریشه خطا (۰/۸۷) بهترین روش برای درون یابی در این پژوهش ارزیابی شد. در نهایت با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ معمولی و واریوگرام نمایی در محیط نرم افزار ESRI® ArcMap™ 10.0 و با استفاده از اکستنشن ژئواستاتستیک (Geostatistic) نحوه توزیع فاکتور فرساینده باران مدل گردید (شکل ۸).

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 برآورد کمتر از حد انتظار و اگر مربع میانگین ریشه خطا کوچکتر از میانگین خطای استاندارد باشد برآورد بیش از حد انتظار است (Kouli et al., 2009).

جدول ۴- نتایج صحت سنجی سرتاسری برای سه روش کریجینگ

روش	میانگین خطا برآورد	مربع میانگین ریشه خطا برآورد (RMSE)	معدل خطا استاندارد، خطا برآورد	میانگین استاندارد شده خطا برآورد	مربع میانگین ریشه خطا برآورد استاندارد شده (RMSS)
کریجینگ ساده	۷/۵۵	۴۳۱/۸۷	۳۸۷/۶۵	۰/۰۱۹	۱/۱۱
کریجینگ عمومی	۱/۴۵	۳۹۴/۴۲	۴۵۷/۳۰	۰/۰۰۱۸	۰/۹۱
کریجینگ معمولی	۱/۴۴	۳۹۴/۴۲	۴۵۷/۲۸	۰/۰۰۱۷	۰/۸۷

با مقایسه مربع میانگین ریشه خطا با میانگین خطا در داده های به دست آمده از صحت یابی سرتاسری در روش کریجینگ ساده ($۴۳۱/۸۷ > ۳۸۷/۶۵$) برآورد کمتر از حد انتظار و در کریجینگ عمومی ($۳۹۴/۴۲ < ۴۵۷/۳۰$) و معمولی ($۳۹۴/۴۲ < ۴۵۷/۲۸$)، برآورد بیشتر از حد انتظار است.



شکل ۸- نقشه توزیع فاکتور فرساینده باران با کریجینگ معمولی شکل ۹- توزیع خطای استاندارد شده حاصل از کریجینگ معمولی

از ویژگی‌های مهم روش زمین‌آمار 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 ۹ میزان خطای استاندارد حاصل از روش کریجینگ معمولی با استفاده از نرم‌افزار ژئواستاتستیک مشاهده می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که انواع روش‌های زمین‌آمار کریجینگ با در نظر گرفتن 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 داده‌های فرساینده‌گی 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 زمین‌آمار کریجینگ در سیستم اطلاعات جغرافیایی آگاهی یافتن از نحوه برآورد داده‌ها با میزان برآورد مورد انتظار بود که در این تحقیق کریجینگ ساده میزان برآوردی کمتر از حد انتظار و کریجینگ عمومی و معمولی برآوردی بیش از حد انتظار داشتند.

۵- مراجع

- 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 زمین‌آمار، مجله منابع طبیعی، شماره ۱، ۸۹-۱۰۱.
- ۲- ثقفیان، ب.، ۱۳۹۰. راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای، نشریه شماره ۵۸۵، معاونت نظارت راهبردی و دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آلفا وزارت نیرو.
- ۳- حسنی پاک، ع.، ۱۳۸۶. زمین‌آمار، دانشگاه تهران، ۳۸۰ ص.
- ۴- شعبانی، ا. ح. ر. متین‌فر، ص. آرخی و س. رحیمی هرآبادی، ۱۳۹۰. مدلینگ فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از روش زمین‌آمار (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)، کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، شماره ۲، ۵۵-۶۷.
- ۵- عساکره، ح.، ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، مطالعه موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، ۲۵-۴۲.
- ۶- فرجی سبکبار، ح. ع و ق. عزیزی، ۱۳۸۵. ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی مکانی در حوزه کارده مشهد، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸، ۱-۱۵.
- ۷- لشنی‌زند، م.، ۱۳۸۳. بررسی اقلیم خشکسالی‌های ایران و راه‌کارهای مقابله با آن، مطالعه موردی: شش حوزه واقع در غرب و شمال‌غرب ایران، پایان‌نامه دکتری رشته‌ی جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان.
- ۸- معروفی، ص. گ. گل محمدی، ک. محمدی و ح. زارع ایبانه، ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش استان همدان در محیط GIS، دانش آب و خاک، شماره ۲، ۱۴۷-۱۶۴.
- ۹- میرموسوی، س. ح. ا. مزیدی و ی. خسروی، ۱۳۸۹. تعیین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان اصفهان)، مجله فضای جغرافیایی، شماره ۳۰، ۱۰۵-۱۲۰.
- ۱۰- وفاخواه، م. م. محسنی ساروی، م. مهدوی و س. ک. علوی پناه، ۱۳۸۷. کاربرد زمین‌آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزه آبخیز اورازان، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۴، ۴۹-۵۵.
- 11- Angulo-Martinez, M., Lopez-Vicente, M. Vicente-Serrano, S and Begueria, S, 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NESpain), Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6, 417-453.
- 12- Descroix, L., J. F. Nouvelot, J. Estrada and Lebal, T, 2001. Complementarily and convergence of rainfall regionalization processes: application to an endoergic basin of Northern Mexico. *Revue des Sciences de l'Eau*, 14(3): 281-305.
- 13- Ferro, V., G. Giordano and M. Lovino, 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Journal of Hydrology*, 36(6): 549-564.

- 14- Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, *Journal of Hydrology*, 228: 113–129.
- 15- Johnston, K. J., 2000. Using Arcgis geostatistic analyst. New York: ESRI.
- 16- Kouli, M., P. Soupios and F. Vallianatos, 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece, *Environment Geology*, 57: 483–49.
- 17- Lal, R., W. Elliot, 1994. Erodibility and erosivity. In: Lal, R. (ed.), Soil erosion research methods, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, 181-208.
- 18- Lal, R., 1990. Soil Erosion in the Tropics, Principles and Management, McGraw-Hill, New York, 580p.
- 19- Lal, R and W. Eliot, 1994. Erodibility and erosivity. In Lal, R. (ed.), Soil erosion research methods. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, 181-208.
- 20- Martin, A., J. Gunter and J. Regens, 2003. Estimating erosion in a revering watershed, Bayou Liberty-Tchefuncta River in Louisiana. *Environmental Science and Pollution Research*, 4: 245-25.
- 21- 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, *Frontiers of Agriculture in China*, 2(3): 281–289.
- 22- Morgan, R. P. C., 1995. Soil Erosion and Conservation. Addison- Wesley, London, 198p.
- 23- Nguyen, R. T., D. Prentiss and J. E. Shively, 1998. Rainfall interpolation for Santa Barbara County, UCSB, Department of Geography, Accessed September 2004.
- 24- Onori, F., P. D. Bonis and S. Grauso, 2006. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy), *Environmental Geology*, 50: 1129- 1140.
- 25- 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.
- 26- 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.
- 27- Rosewell, C., 1996. A robust estimator of the R factor for the Universal Soil Loss Equation, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 39 (2):559-561.
- 28- 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.
- 29- Silva, A. M., 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57: 251–259.
- 30- 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.