

بررسی کارایی انواع الگوریتم‌های زمین آمار جهت تهیه فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از GIS (مطالعه‌ی موردی: حوزه آبخیز میمه، استان ایلام)

*حسن فتحی‌زاد^۱، محمدعلی حکیم‌زاده، حاجی کریمی^۲، سید رشید فلاح شمسی^۳

۱- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

Email: Hasan.fathizad@gmail.com

۲- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۳- دانشیار بخش مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

چکیده

هدف از این تحقیق محاسبه و مدل‌سازی فاکتور فرساینده‌گی باران در حوزه میمه استان ایلام با استفاده از داده‌های ۲۶ ایستگاه باران-سنجی در طی دوره ۲۳ ساله (سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۶)، با روش‌های زمین آماری می‌باشد. برای محاسبه فاکتور فرساینده‌گی باران، بعد از اینکه ایستگاه‌های شاخص در منطقه مورد مطالعه تعیین شدند، بارندگی ماهیانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها و در دوره زمانی مورد مطالعه بازسازی گردید. سپس با استفاده از معادله شاخص فورنیه، فاکتور R برای تمام ایستگاه‌ها بدست آمد. در مرحله بعد با استفاده از روش-های زمین آماری مختلف، نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید و برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های فرساینده‌گی باران از ترسیم واریوگرام استفاده شد که واریوگرام خطی با میزان ۰/۸۳۶، بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل‌سازی کرده و برای درون‌یابی استفاده گردید. همچنین، برای بررسی میزان شاخص فرساینده‌گی از روش‌های درون‌یابی روش عکس فاصله (IDW)، درون‌یاب چند جمله‌ای جهانی (GPI)، تابع شعاعی (RBF)، درون‌یاب موضعی (LPI) و کریجینگ استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش موضعی با $RMSE = 51/28$ کمترین خطا را داشته و به‌عنوان بهترین روش برای پهنه‌بندی فاکتور فرساینده‌گی باران در حوزه میمه معرفی گردید.

کلید واژه‌ها: زمین آمار؛ فرساینده‌گی باران؛ درون‌یابی؛ حوزه میمه؛ استان ایلام.

مقدمه

از مهم‌ترین مسائل و معضلات موجود در زمینه منابع خاک و آب، فرسایش خاک است که خود مسائل عدیده‌ای در خصوص منابع آب بوجود آورده است. عواملی که بیشترین تأثیر را بر فرسایش آبی دارد مقدار و شدت بارندگی است. برخورد قطرات باران با زمین مهم‌ترین عامل جداکننده ذرات خاک است. در حالت معمولی میزان فرسایش تابعی از فرساینده‌گی^۱ باران و فرسایش‌پذیری^۲ خاک است. معادله جهانی فرسایش (USLE)^۳ مدیران را قادر می‌سازد تا میزان متوسط فرسایش سالانه خاک در سیستم‌های کشت متناوب و برنامه‌های مدیریتی فرسایش خاک در یک منطقه را پیش‌بینی نمایند (Wischmeier and Smith, 1987).

1. Erosivity
2. Erodibility
3. Universal Soil Loss Equation

شاخص فرساینده گی باران در معادله جهانی فرسایش به عنوان یک شاخص کمی از توان باران در فرسایش خاک استفاده می شود (Wischmeier and Smith, 1971). این شاخص ترکیبی از مقدار باران به صورت انرژی جنبشی و شدت بارش می باشد. در واقع شاخص فرساینده گی سالانه باران مجموع مقادیر شاخص فرساینده گی تمامی رگبارها در طول یک سال می باشد. فرساینده گی رگبار تابعی از شدت و مدت آن، جرم و سرعت قطره باران می باشد. بنابراین برای تعیین فرساینده گی باران لازم است توزیع اندازه قطره باران را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

با توجه به تغییرهای قابل ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کم بودن ایستگاه های بارانسنجی برای ثبت میزان بارندگی روزانه از سوی دیگر، ضرورت تبیین مدل های تخمین بارندگی در زمان و مکان، اجتناب ناپذیر است. تعیین مناسبترین روش درون یابی 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 روش های مختلفی وجود دارد. به عنوان نمونه میتوان روش های کلاسیک، همچون تیسن^۱ و میانگین حسابی را نام برد. همه این روش ها از نظر محاسبه ها، سریع و آسان می باشند. روش های مختلفی برای برآورد داده های مکانی وجود دارد که از معمول ترین این روش ها می توان به میانگین حسابی، گرادیان و تیسن اشاره نمود (Corwin *et al.*, 1992)؛ Hosseini *et al.*, 1993). ولی به دلایلی از جمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین مشاهده ها، از دقت کافی برخوردار نیستند، البته روش های دیگری نیز وجود دارند که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده ها اهمیت زیادی دارند. ایرادهای روش های یاد شده، ضرورت بهره گیری از روش های زمین آماری را مطرح می کند. روش های زمین آماری به دلیل در نظر گرفتن همبستگی مکانی داده ها از اهمیت ویژه در بررسی های مربوط به توزیع مکانی داده های زمینی برخوردار می باشند و برآوردهای بهتری از پارامتر مورد بررسی در نقاط نمونه برداری نشده می دهند (کریمی نظر و همکاران، ۱۳۹۰).

میزان فرساینده گی باران با میزان بارندگی و میزان بارندگی با ارتفاع رابطه مستقیم دارد. به همین دلیل در گذشته سعی می شد که با استفاده از برقراری یک رابطه رگرسیونی میان ارتفاع و بارندگی، نقشه بارندگی منطقه تهیه و با استفاده از یک رابطه رگرسیونی دیگر برای بارندگی و میزان فاکتور فرساینده گی باران، نقشه فرساینده گی تهیه می شود (Gitas *et al.*, 2009؛ Arekhi *et al.*, 2010). یکی از روش هایی که امروزه جایگزین روش های مبتنی بر استفاده از شیوه های آمار کلاسیک (مانند رگرسیون، مربع معکوس وزنی فاصله و ..) شده، روش های زمین آماری است. امروزه از این روش ها برای درون یابی ایستگاه های بارندگی و سایر متغیرهایی که وابستگی مکانی دارند استفاده می شود (متین فر و همکاران، ۱۳۸۹؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰). محققان بسیاری به مقایسه و ارزیابی روش های مختلف درون یابی پرداخته اند که نشان دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش می باشد. Hargrove (۲۰۰۱)، از روش اسپیلاین با کشش^۲ و اسپیلاین با سطح صاف^۳ برای برآورد بارندگی در سوئیس استفاده نمودند. Kosmelj و Kastelec (۲۰۰۲)، آمار بارندگی سالانه کشور اسلونی را با مدل کروی روش کریجینگ معمولی مورد مطالعه قرار داده و بیان کردند که این داده ها بارندگی تا شعاع ۴۰ کیلومتری بر روی هم تأثیر می گذارند. همچنین در این مطالعه، میزان واریانس برآوردی شرق این کشور کمتر از غرب آن به دست آمد که محققان علت این پدیده را تعداد کم ایستگاه ها به علت کوهستانی بودن قسمت غرب اعلام نمودند. Goovaerts

-
1. Thiessen
 2. Spline with Tension
 3. Spline Smooth surface

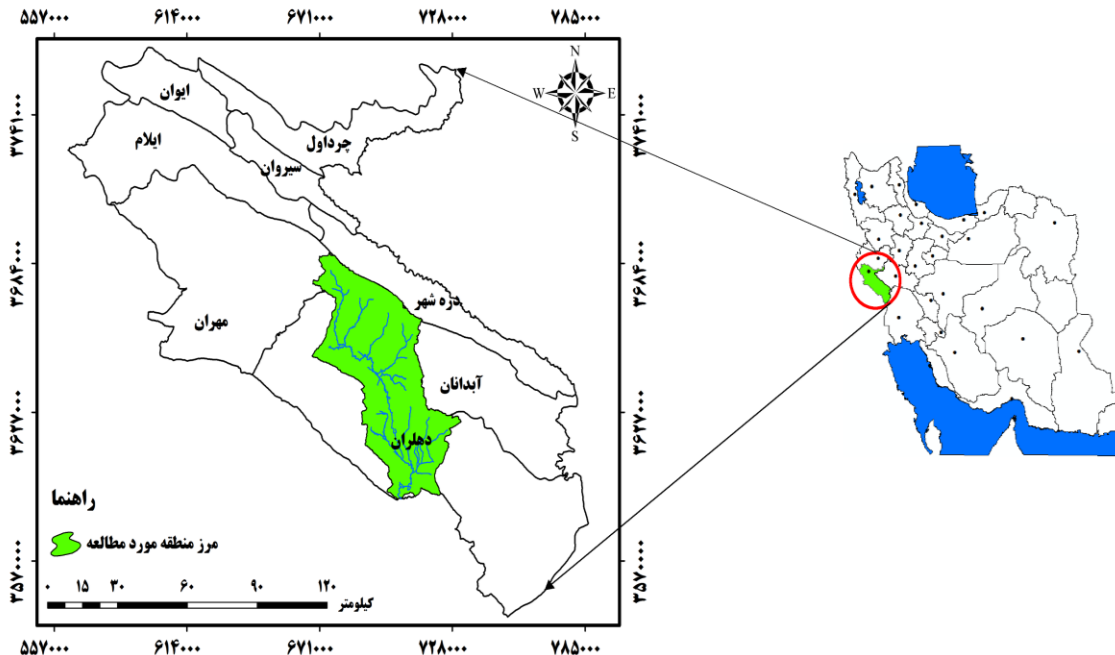
(۲۰۰۰)، از بین روش‌های عکس مجذور فاصله، رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن و کریجینگ برای میان‌یابی بارندگی و دمای سالانه منطقه‌ای به وسعت پنج هزار کیلومتر مربع از کشور پرتقال، روش کریجینگ ساده را در مقایسه با دیگر روش‌های یاد شده مناسب‌تر دانست. Mingxin و همکاران (۲۰۰۸)، در محاسبه شاخص فرساینده‌گی باران با استفاده از زمین‌آمار در استان هبی (HEBI) چین، روش کریجینگ معمولی درجه دوم نسب 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. Onori و همکاران (۲۰۰۶)، به منظور برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سیسیل در شمال ایتالیا با استفاده از مدل اصلاح شده جهانی فرسایش خاک، میزان فاکتور فرساینده‌گی باران را در این مدل با استفاده از روش کریجینگ درون‌یابی نمودند.

با توجه به پراکنش نامنظم و فاصله ایستگاه‌های باران‌سنجی در نقاط مختلف و نیز حساسیت مدل‌های زمین‌آمار در برآورد متغیرهای باران‌سنجی و تبدیل آنها به نقشه، در این تحقیق ارزیابی روش‌های مختلف زمین‌آمار در تولید نقشه فرساینده‌گی باران مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت تشخیص و انتخاب مدل مناسب زمین‌آمار و نیز تنظیمات ویژه هریک از این مدل‌ها ضمن ایده گرفتن از تحقیقات پیشین این خصوصیات برای حوزه میمه استان ایلام محاسبه و بکار گرفته شده است. برای محاسبه فاکتور فرساینده‌گی باران از داده‌های ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی و جهت مدلسازی فاکتور فرساینده‌گی باران از نرم‌افزارهای ArcGIS9.3 و GS⁺ استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه میمه ایلام با وسعتی برابر ۲۷۰۵۱۸ هکتار در بخش جنوب غربی کشور در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ}44'41''$ تا $30^{\circ}47'16''$ طول شرقی و $32^{\circ}27'31''$ تا $33^{\circ}19'11''$ عرض شمالی واقع گردیده است (شکل ۱). منطقه مطالعاتی از بخش شمالی به حوزه آبخیز رودخانه سیمره، از بخش شرقی به حوزه آبخیز رودخانه دویرج، از بخش غربی به حوزه آبخیز رودخانه‌های چنگوله، کلالی، قافله‌جا، نصریان، لوبیتر، بیشه‌دراز، آب جلال (رودخانه‌های مرزی غرب کشور) و از بخش جنوبی به اراضی پایاب رودخانه میمه در داخل کشور عراق محدود می‌گردد. محدوده مطالعاتی با سیمای کاملاً کوهستانی و مرتفع در بخش شمالی و اراضی دشتی و تپه‌ماهور در بخش جنوبی چشم‌انداز متمایزی را نشان می‌دهد. مرتفع‌ترین نقطه ارتفاعی منطقه مطالعاتی با ارتفاع مطلق $2502/4$ متر از سطح دریا در ارتفاعات کبیر کوه در بخش شمالی و پست‌ترین محل با ارتفاع مطلق $73/6$ متر از سطح دریا در بخش جنوبی (گلوگاه - خروجی رودخانه میمه) واقع گردیده است. بدین ترتیب حداکثر اختلاف ارتفاع اراضی محدوده مطالعاتی $2427/5$ متر از سطح دریا بدست می‌آید. در منطقه مورد مطالعه $84/1$ درصد بارندگی‌ها در شش ماهه اول سال آبی رخ می‌دهد همچنین متوسط بارندگی کل منطقه $421/8$ میلی‌متر برآورد شده است که از این میزان با استفاده از روش کوتاین بیش از 308 میلی‌متر آن تبخیر می‌گردد.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان ایلام

روش کار آزمون آماری

در این تحقیق به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش کلموگراف - اسمیرنف^۱ استفاده گردید. لازم به ذکر است که داده‌های بارندگی مورد استفاده در این تحقیق دارای توزیع نرمال بودند، لذا تبدیلی روی آنها جهت نرمال کردن داده‌ها انجام نشد. هیستوگرام فراوانی (شکل ۲) و خصوصیات آماری داده‌های شاخص فرسایندهی باران در منطقه‌ی مورد مطالعه، در دوره آماری ۲۳ ساله (سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۸۹) از ۲۶ ایستگاه موجود و به روش درونیابی در نرم افزار SPSS 21 بر اساس جدول شماره ۱ بدست آمد.

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های منطقه مورد مطالعه جهت برآورد فاکتور فرسایندهی باران ($MJmmha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$)

| پارامتر | میانگین | متوسط خطای استاندارد | انحراف از معیار | مد | واریانس | چولگی | حداقل | حداکثر |
|---------|---------|----------------------|-----------------|------|---------|-------|-------|--------|
| مقدار | ۱۸۵/۵ | ۱۷/۷ | ۹۰/۴ | ۶۱/۲ | ۸۱۷۴/۸ | ۰/۳۲۱ | ۶۱/۲ | ۳۶۹/۳ |

فاکتور فرسایندهی باران (R)

از آنجائی که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود می‌باشند، غالباً از مقادیر متوسط بارندگی ماهیانه و سالیانه، جهت برآورد فاکتور R استفاده می‌شود (Yu and Renard and Freimund, 1994). چنین آماری در بیشتر نقاط دنیا بویژه برای دوره‌های زمانی طولانی مدت وجود ندارد و فرآیند محاسبه آنها نیز وقت گیر و مشکل است (Morgan, 1995; Renard and Freimund, 1994; Silva, 2004). از اینرو محققان

1. Kolmogorov-Smirnov

مختلف با استفاده از آمار بارندگی روزانه و ماهانه که در ایستگاه‌های بارانسنجی قابل تهیه‌اند، توانسته‌اند شاخص‌های ساده‌تر و سهل-الوصولی ارائه کنند. این شاخص‌ها یا از راه تحلیل منطقه‌ای تولید رسوب یا از با برقراری همبستگی و رابطه با شاخص EI_{30} به دست آمده‌اند. دو شاخص $\frac{P^2}{p}$ (Morgan, 1995) و $\sum_{i=1}^{12} pi^2$ (Arnoldus, 1977; Arnoldus, 1980) معروف‌ترین شاخص‌های گروه اخیر محسوب می‌شوند. در شرایط فقدان آمار مناسب برای شاخص‌های گروه اول، استفاده از شاخص‌های گروه دوم اجتناب‌ناپذیر می‌شود. بررسی منابع نشان می‌دهد که شاخص فرساینده‌گی فورنیه ($\frac{P^2}{p}$) بیش از شاخص‌های دیگر در تعیین فرساینده‌گی باران و تهیه نقشه فرساینده‌گی بویژه برای مناطق فاقد آمار مورد توجه محققان قرار گرفته است (حکیم‌خوانی و همکاران، ۱۳۸۷).

برای محاسبه فاکتور فرساینده‌گی باران، بعد از اینکه ایستگاه‌های شاخص در منطقه مورد مطالعه تعیین شدند، بارندگی ماهیانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها و در دوره زمانی مورد مطالعه بازسازی گردید. هیستوگرام فراوانی داده‌های فاکتور فرساینده‌گی باران (MJmmha-1 h-1 yr-1) در شکل (۲) آمده شده است. شکل (۳) موقعیت ۲۶ ایستگاه مورد استفاده را نشان می‌دهد. در مرحله بعد با استفاده از معادله ذیل، شاخص فورنیه^۱ و فاکتور R برای تمام ایستگاه‌ها بدست آمد. رابطه شاخص فورنیه (F) بصورت ذیل است (Renard and Freimund, 1994):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} pi^2}{\sum_{i=1}^{12} p} \quad (1)$$

در این معادله، pi متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i و p متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است. در مطالعه حاضر، با استفاده از معادله (۱)، شاخص فورنیه برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه و سپس با جای‌گذاری شاخص فورنیه (رابطه ۱) در روابط (۲) و (۳) که توسط Renard و Freimund (۱۹۹۴) برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده، مقدار فاکتور شاخص فرساینده‌گی باران برای ایستگاه‌های شاخص برآورد گردید.

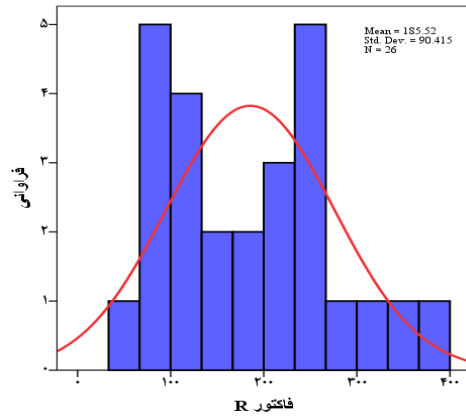
اگر: $F < 55 \text{ mm}$

$$R - \text{factor} = \frac{(0.07397 \times F^{1.847})}{17.2} \quad (2)$$

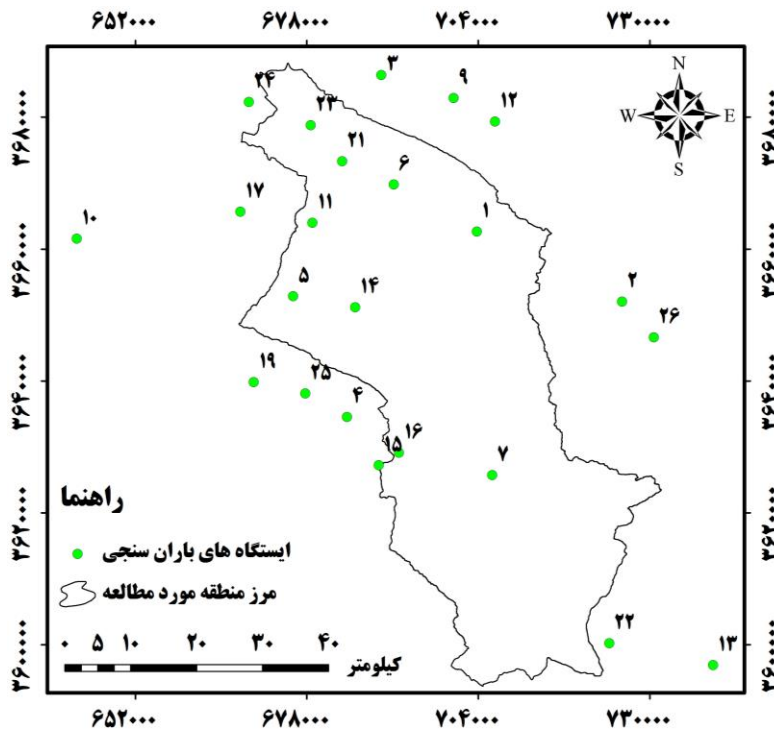
اگر: $F \geq 55 \text{ mm}$

$$R - \text{factor} = \frac{(95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times F^2)}{17.2} \quad (3)$$

¹ Fournier Index



شکل ۲. توزیع هیستوگرام شدت فرسایندگی باران (MJmmha-1 h-1 yr-1)



شکل ۳. موقعیت ایستگاه های مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

تحلیل زمین آمار

زمین آمار براساس ساده ترین تعریف، در واقع یک روش درونیابی است که معیار مورد استفاده در آن برای درونیابی یا تخمین، کمینه شدن مقدار واریانس تخمین است (Hohn, 1988). درونیابی در واقع برآورد میزان متغیر پیوسته مجهول براساس نمونه های معلوم در منطقه است

(Lu and Wong, 2008). تخمین زمین آماری یکی از دقیق‌ترین روش‌های تخمین است، چرا که عوامل زیادی نظیر فاصله نقاط، ناهمسانگردی، تغییرپذیری فضایی را مورد بررسی قرار می‌دهد. اما این روش حجم محاسبات بسیار بالایی دارد که سبب می‌شود در محاسبات حجیم، زمان محاسبات افزایش یابد (Hirsche et al., 1988).

آنالیز زمین آماری به بررسی پدیده‌های متغیر در زمان و مکان و آنالیز نقاط نمونه‌برداری شده با موقعیت‌های متفاوت به منظور تولید یک سطح پیوسته می‌پردازد (Johnston et al., 2001). آنالیزهای زمین آماری به دنبال راهی برای توصیف پیوستگی مکانی و همچنین جمع‌آوری ابزارهای آماری و قطعی و مدل نمودن این دسته از تغییرات هستند. فرض اساسی این روش تحلیل مکانی-آماري این است که مشاهدات نزدیک به هم نسبت به مشاهدات دور از هم از همبستگی آماری بیشتری برخوردارند. لازم به ذکر است، امکان دستیابی به نتایج صحیح و کارا از طریق این نوع آنالیزها، زمانی حاصل می‌گردد که داده‌ها دارای توزیع نرمال بوده و حتی المقدور ثابت بوده و میانگین و واریانس آنها در فضا متغیر نباشد (Bohling, 2005).

واریوگرام

واریوگرام یکی از مهم‌ترین مفاهیم زمین‌آمار است که اغلب تعاریف و مفاهیم دیگر زمین آماری بر اساس آن تبیین می‌گردند. برای تعیین میزان همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه‌برداری شده و استخراج پارامترهای لازم در مراحل درونیابی از واریوگرام استفاده می‌شود (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ۶۷-۵۵). واریوگرام اولین قدم برای مدل‌سازی ساختار مکانی به منظور استفاده در کریجینگ است. هدف اصلی از برقراری تابع نیم‌تغییرنم^۱ آن است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی شناسایی نمود. واریوگرام با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Oliver and Webster, 2000).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (3)$$

که در آن (Oliver and Webster, 2000):

$\gamma(h)$: مقدار نیم‌تغییرنما برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند.

n : تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند.

$z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x .

$z(x_{i+h})$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد.

در منحنی واریوگرام با افزایش فاصله (h) مقدار $\gamma(h)$ افزایش می‌یابد و این وضعیت تا فاصله معینی ادامه دارد که از آن پس مقدار آن ثابت می‌شود. در این تحقیق از انواع مدل‌های خطی، نمایی، گوسین و کروی استفاده می‌شود و در زیر به شرح آنها پرداخته شده است (حسنی پاک، ۱۳۸۶؛ ذبیحی و همکاران، ۱۳۹۰).

¹ Semi-variogram

مدل خطی: معادله مدل خطی از رابطه (۴) بدست می آید.

$$\text{for } 0 < h \leq a\gamma_{(h)} = c_0 + c_1 \left\{ 1 - \frac{2}{N} \arccos\left(\frac{h}{a}\right) + \frac{ah}{\Pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right\} \quad (۴)$$

$$\text{for } h > a\gamma_{(h)} = c_0 + c$$

مدل نمایی: معادله مدل نمایی از رابطه (۵) بدست می آید.

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right] \quad (۵)$$

مدل گوسین: معادله مدل گوسین از رابطه (۶) بدست می آید.

$$\gamma_{(h)} = c_0 + c \left(1 - e^{-\frac{h}{a}} \right) \quad (۶)$$

مدل کروی: معادله مدل کروی از رابطه (۷) بدست می آید.

$$\text{for } 0 < h \leq a\gamma_{(h)} = c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad (۷)$$

$$\text{for } h > a\gamma_{(h)} = c_0 + c$$

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه شاخص فرساینده گی باران از روش‌های درون‌یابی روش عکس فاصله^۱ (IDW)، درون‌یاب چند جمله‌ای جهانی^۲ (GPI)، تابع شعاعی^۳ (RBF)، درون‌یاب موضعی^۴ (LPI) و کریجینگ^۵ استفاده شد.

روش عکس فاصله (IDW)

روش معکوس فاصله یکی از روش‌هایی است که در مطالعات جغرافیایی به صورت متداول از آن استفاده می‌شود. فرض اصلی این روش بر آن است که با افزایش فاصله میزان تأثیر پارامترها در برآورد متغیر برای هر نقطه از سطح منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. در این روش به نقاط نزدیک به محل تخمین، وزن بیشتر و به نقاط دورتر، وزن کمتر اختصاص می‌یابد (Lu and Wong, 2008). بیان آماری چنین رویکرد وزن‌دهی، عبارت است از ریاضی این روش به صورت رابطه (۸) می‌باشد:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}} \quad (۸)$$

که در آن:

di: عبارت از فاصله بین نقطه تخمین تا هر کدام از نمونه‌های واقع در همسایگی آن.

Z_o: مقدار تخمین متغیر Z.

Z_i: مقدار نمونه در نقطه i.

d_i: فاصله نقطه مورد تخمین تا نقطه i.

n: توان فاصله که تنظیم کننده وزن فاصله می‌باشد و بین ۰ تا n تغییر می‌کند.

-
1. Inverse distance weights
 2. Global polynomial interpolation
 3. Radial basis function
 4. Local polynomial interpolation
 5. Kriging

روش چند جمله‌ای جهانی

روش چند جمله‌ای، یک مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس تمامی داده‌ها ایجاد می‌کند. این روش مدلی را بر نقاط نمونه‌برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند جمله‌ای با توان ۱، ۲ و یا ۴ باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوحی می‌باشد که در آن متغیر دارای تغییرات ملایم و تدریجی است (Johnston et al., 2001).

روش تابع پایه شعاعی

روش تابع پایه شعاعی از جمله روش‌های درون‌یابی می‌باشد که در آن دامنه مقادیر تخمینی از حد مقادیر مشاهده شده فراتر می‌رود یا تخمین از دامنه مشاهده خارج می‌شود و به عنوان یکی از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی^۱ است. در این روش مقادیر برآورد شده به دامنه حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده شده محدود نمی‌شود و ممکن است مقادیر تخمینی بیشتر از بیشینه مقادیر مشاهده شده و یا کمتر از کمینه مقادیر مشاهده شده نیز وجود داشته باشند (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۹).

روش موضعی (LPI)

این روش یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد و با فواصل همسایگی در پنجره مشترک حساس است، بدین گونه که پنجره حرکت کرده و مقادیر سطحی در مرکز هر پنجره در هر نقطه به وسیله برازش یک چند ضلعی تخمین زده می‌شود. این روش انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به روش تخمین عام دارد. این دو روش هیچ فرضی برای داده‌ها نیاز ندارند (Ruppert, 1997).

روش کریجینگ

یکی از روش‌های پیشرفته زمین آمار است که بر اساس تحلیل نیم تغییرنا استوار می‌باشد. نیم تغییرنا یکی از روش‌های محاسبه تغییرات مکانی است که هدف اصلی از برقرار کردن تابع آن، شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می‌باشد. کلید اساسی در کریجینگ نیم تغییرنا است که در واقع بررسی همبستگی مکانی بین دو نقطه است. اما فرض بر آن است که مقادیر یک متغیر در فواصل نزدیک بیشترین شباهت را داشته و با افزایش فاصله از میزان همبستگی مقادیر آن متغیر کاسته می‌شود (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۸). از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازاء هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می‌کند. در روش کلاسیک (مانند رگرسیون و معکوس وزنی فاصله) معمولاً این چنین نیست (حسینی پاک، ۱۳۸۶). معادله کلی کریجینگ برای برآورد مقادیر یک متغیر به صورت رابطه (۹) بیان می‌شود.

$$z^* = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad (9)$$

که در آن:

z^* : میزان داده برآورد شده.

در این رابطه W_i مجموعه‌ای از وزن‌هاست، که به نحوی انتخاب می‌شوند تا Z_{xi}^* برآورد ناریب با حداقل خطا Z^* باشد (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۸).

معیارهای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل

بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درونیابی انجام شده توسط روش‌های مورد بررسی در این تحقیق، در ادامه صحت این درونیابی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های عمده‌ای که در بررسی صحت درونیابی استفاده می‌شود شامل صحت‌یابی (validation) و صحت‌یابی سرتاسری است (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰). که در روش اول یک منطقه تعلیمی (Traning) 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). برخلاف 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 ایستگاه-های شاخص برآورد می‌گردند که تفاوت بین مقدار واقعی و مقدار برآورد شده در ایستگاه‌های شاخص را خطای برآورد گویند. که در ادامه پایین‌ترین میزان ریشه دوم میانگین مربع خطای^۱ باقی مانده، برای انتخاب بهترین روش درونیابی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (رابطه ۱۰) (وفاخواه و همکاران، ۱۳۸۷؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰).

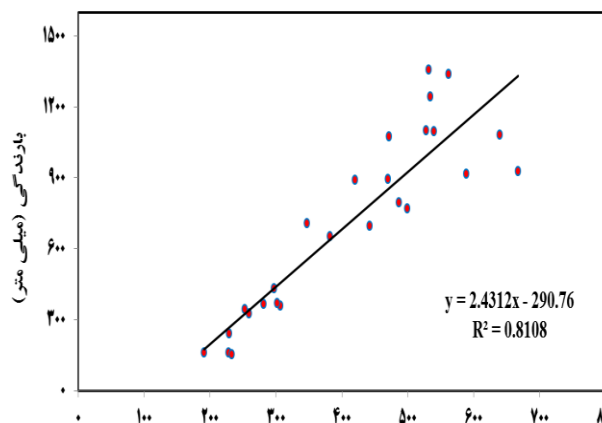
$$RMS = \frac{\sum (X - X_i)^2}{n} \quad (10)$$

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

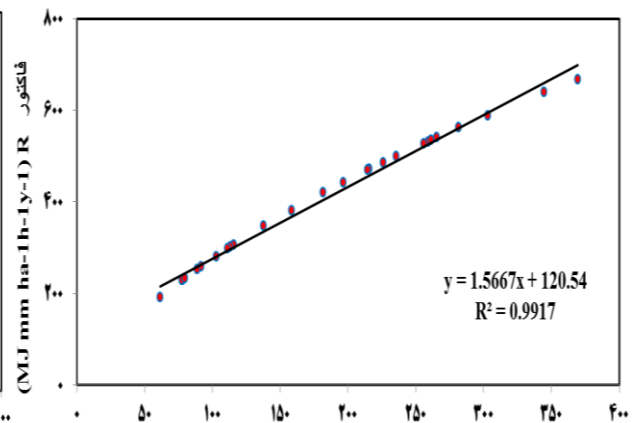
نتایج و بحث

در اشکال ۴ و ۵ رابطه بین ارتفاع-بارندگی و ارتفاع-شدت فرسایش باران (R) ارائه شده است. هدف از رسم اشکال (۴ و ۵)، بررسی رابطه بین فاکتور فرساینده باران با افزایش ارتفاع و بارش بارندگی می‌باشد. این اشکال نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع، به دلیل کاهش دما و رسیدن به نقطه شبنم، میزان بارش افزایش می‌یابد و با افزایش بارش به طبع میزان فرساینده باران افزایش می‌یابد.

1. Root Mean Square Error (RMSE)



شکل ۵. رابطه بین بارندگی و فاکتور R
ارتفاع (متر)

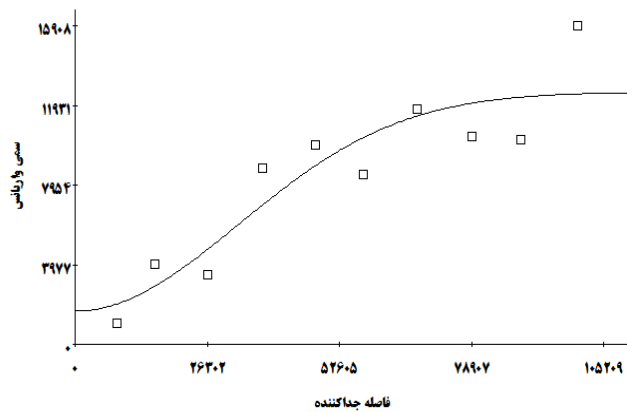


شکل ۴. رابطه بین ارتفاع و بارندگی
بارندگی (میلی متر)

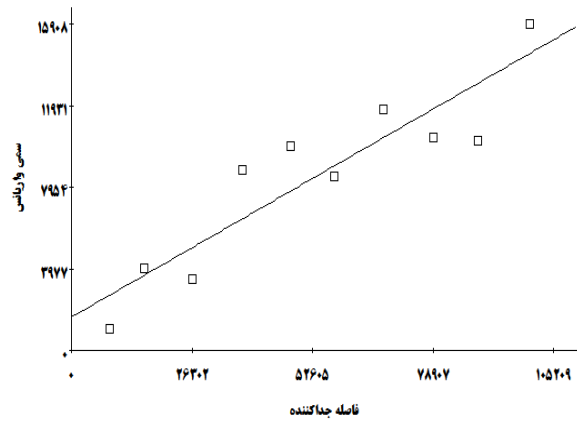
در این تحقیق برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های فاکتور فرسایش باران از واریوگرام استفاده شد که نتایج آن در جدول (۲) مشاهده می‌گردد. در ادامه واریوگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به صورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای^۱ و سقف^۲ واریوگرام استفاده گردید (C+Co) (حبشی و هکاران، ۱۳۸۵). اگر نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام کمتر از ۰/۲۵ باشد داده‌ها همبستگی مکانی قوی وجود دارد. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد میزان همبستگی مکانی متوسط بوده و اگر بیش از ۰/۷۵ درصد باشد همبستگی مکانی بین داده‌ها کم بوده یا همبستگی وجود ندارد (Zahedi Amiri, 1998; Tuominen et al., 2003).

به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده گردید. با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام خطی با میزان نسبت ۰/۸۳۶، بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درون‌یابی استفاده گردید. بعد از واریوگرام خطی، واریوگرام‌های گوسین، کروی، و نمایی به ترتیب با میزان نسبت ۰/۹۲، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ قرار دارند. انواع واریوگرام‌های به کار رفته شده برای برازش داده‌ها در این تحقیق در شکل ۶ آمده است.

1. Nugget effect
3. Sill



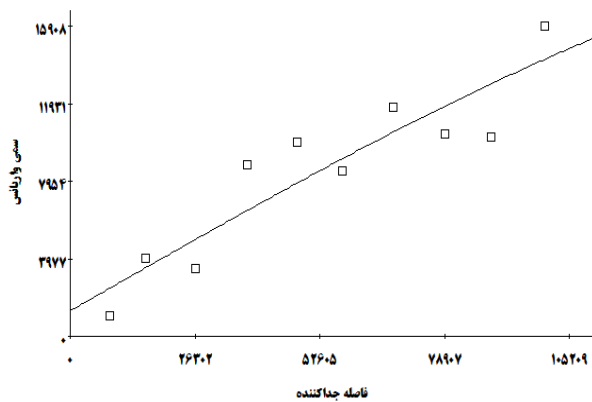
Gaussian model ($C_0 = 1660.0000$; $C_0 + C = 12600.0000$; $A_0 = 45800.00$; $r^2 = 0.824$; $RSS = 3.076E+07$)



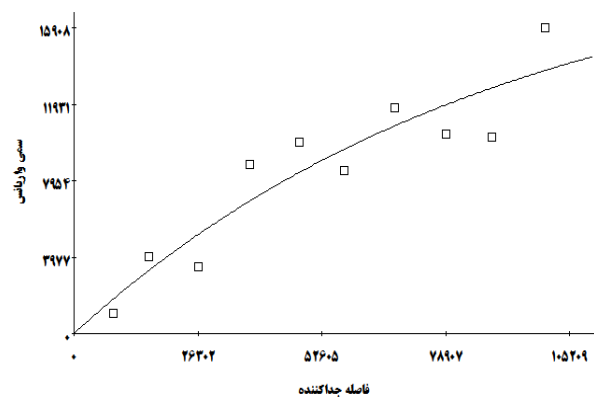
Linear model ($C_0 = 1615.5265$; $C_0 + C = 14475.6655$; $A_0 = 100012.39$; $r^2 = 0.829$; $RSS = 2.994E+07$)

ب

الف



Spherical model ($C_0 = 1300.0000$; $C_0 + C = 20920.0000$; $A_0 = 210900.00$; $r^2 = 0.834$; $RSS = 2.904E+07$)



Exponential model ($C_0 = 10.0000$; $C_0 + C = 20610.0000$; $A_0 = 91700.00$; $r^2 = 0.850$; $RSS = 2.620E+07$)

د

ج

شکل ۶. واریوگرام برازش داده شده به داده‌های شاخص فرساینده با استفاده از: الف: واریوگرام گوسین، ب: واریوگرام خطی، ج: واریوگرام کروی، د: واریوگرام نمایی

جدول ۲. پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف واریوگرام به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده

| نوع مدل | اثر قطعه (mm ²) Co | اثر آستانه (mm ²) Co+C | نسبت C / Co+C | عامل فاصله (km) Ao | R ² |
|---------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| گوسین | ۸۱۰ | ۱۰۶۰۰ | ۰/۹۲۴ | ۳۳۶۰۰ | ۰/۹۰۱ |
| خطی | ۲۰۲۵/۳ | ۱۲۳۶۲/۵ | ۰/۸۳۶ | ۸۸۶۴۰/۱ | ۰/۸۳۶ |
| کروی | ۱۰ | ۱۰۶۲۰ | ۰/۹۹ | ۷۲۸۰۰ | ۰/۸۹۷ |
| نمایی | ۱۰ | ۱۳۲۵۰ | ۰/۹۹ | ۴۶۵۰۰ | ۰/۸۶۹ |

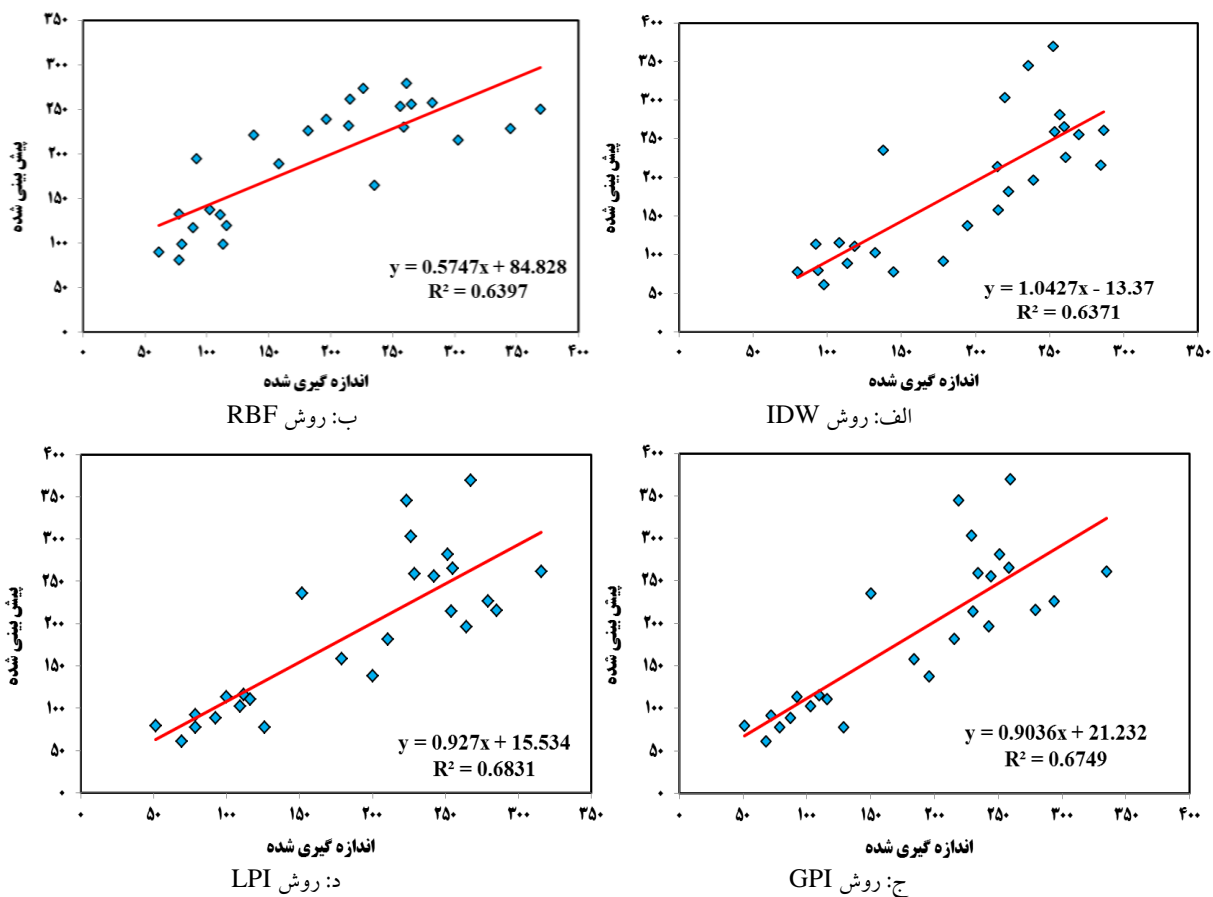
نتایج حاصل از ارزیابی مدل در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس RMSE کمترین خطا به روش روش موضعی (LPI) تعلق دارد. بر اساس RMSE در مورد روش‌های دیگر به صورت زیر است.

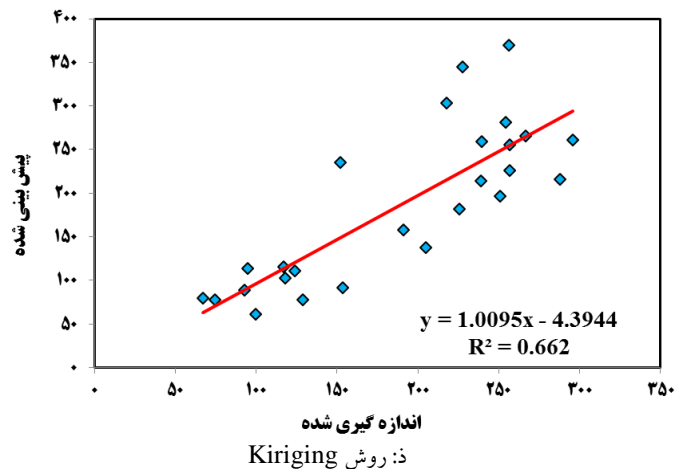
Kiriging > RBF > GPI > IDW

جدول ۳. میزان RMSE شاخص فرساینده‌گی باران بر اساس روش‌های مختلف آماری

| پارامتر | روش | RMSE |
|---------|----------|------|
| ۵۴/۰۳ | IDW | |
| ۵۳/۷۴ | RBF | |
| ۵۳/۸۹ | GPI | |
| ۵۱/۲۸ | LPI | |
| ۵۱/۶۱ | Kiriging | |

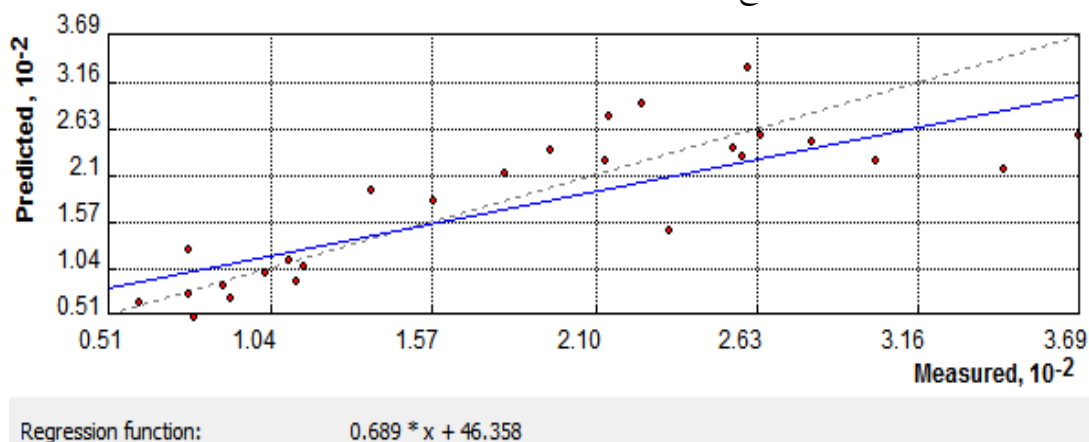
برای مقایسه بهتر، نمودار مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده هر روش نیز استخراج گردید (شکل ۷)، مشاهده می‌شود که کلیه روش‌ها به هم شبیه بوده و همبستگی تقریباً نزدیکی دارند اما مقدار ضریب تعیین مدل برازش داده شده، روش LPI از سایر روش‌ها بالاتر است. ($R^2=0.68$)



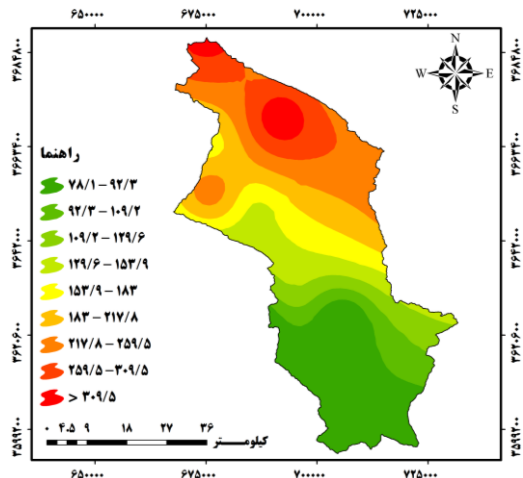


شکل ۷. نمودار مقادیر اندازه گیری و پیش بینی شده روش های مختلف آماری (MJ mm ha-1h-1y-1) الف: IDW ب: RBF ج: GPI د: LPI ذ: روش Kiriving

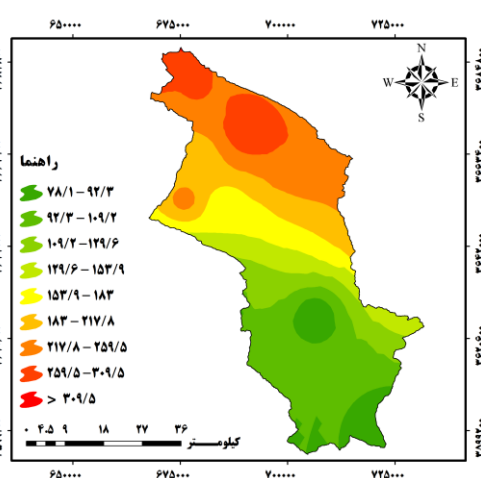
شکل ۸ نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده روش موضعی (LPI) که بالاترین دقت را نسبت به سایر روش های آماری دارد و شکل ۹، نقشه پهنه بندی شاخص فرساینده گی انواع روش های درون یابی را نشان می دهند. با توجه به تعداد بالای ایستگاه های موجود در منطقه و نحوه توزیع مناسب آنها، نقشه پهنه بندی کاملی از منطقه تولید می شود.



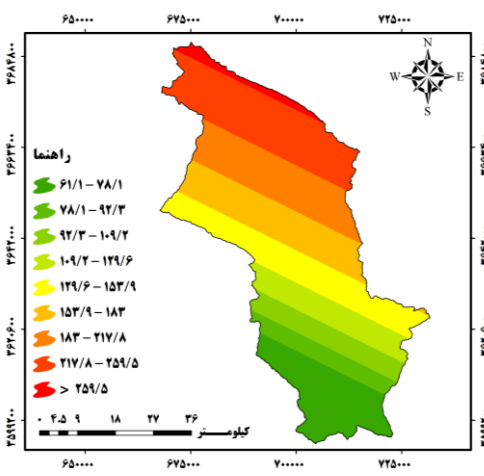
شکل ۸. رابطه بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر برآورد شده شاخص فرساینده گی باران با استفاده از روش LPI



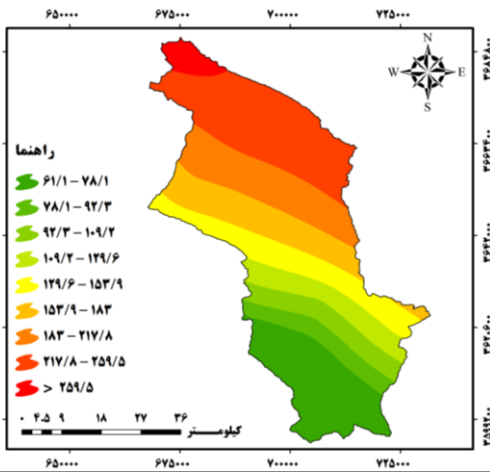
ب: روش RBF



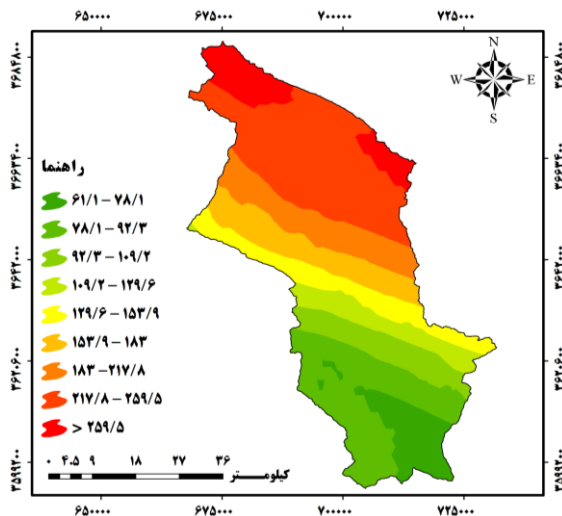
الف: روش IDW



د: روش LPI



ج: روش GPI



ذ: روش Kriging

شکل ۹. نقشه شاخص فرسایندهی حوزه میمه با استفاده از انواع روش‌های آماری (1-1y-ha-mm MJ)

الف: IDW ب: RBF ج: GPI د: LPI ذ: Kriging

نتیجه گیری

در این تحقیق، پهنه بندی شاخص فرساینده گی باران با استفاده از روش های مختلف درون یابی JDW ، GPI ، RBF ، LPI و $Kiriging$ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که روش موضعی (LPI) با کمترین $RMSE$ (۵۱/۲۸) بهترین روش برای پهنه بندی فاکتور فرساینده گی باران در حوزه میمه محسوب می شود. همچنین با بکارگیری "نسبت اثر قطعه ای بر سقف واریوگرام" مشخص شد واریوگرام خطی با ضریب همبستگی $0/836$ ، بهترین مدل تخمین از مشاهدات موجود را ارائه کرده و از آن برای تهیه نقشه پهنه بندی به روش دورن یابی استفاده شده است. همچنین واریوگرام های مورد استفاده در این تحقیق به خوبی نشان دادند که ترسیم واریوگرام علاوه بر اثبات همبستگی مکانی بین داده های فرساینده گی باران، قابلیت مدل کردن تغییرات همبستگی مکانی در جهت های مختلف را نیز دارند.

بعد از واریوگرام خطی، واریوگرام های گوسین، کروی، و نمایی به ترتیب با ضرایب همبستگی $0/824$ ، $0/99$ و $0/99$ بهترین مدل های واریوگرافی محسوب می شوند (شکل ۵). با توجه به وجود روند در افزایش دامنه تغییرات واریانس با تغییرات ارتفاع ایستگاه ها در منطقه و افزایش دامنه تغییرات واریانس به شکل تدریجی و نسبتاً منظم، همه مدل های تخمین اعم از خطی و غیر خطی رفتار مشابهی از خود نشان می دهند. به همین دلیل ضریب تعیین نمودارهای برازش داده شده نیز به هم نزدیک و بین $0/83$ تا $0/99$ و به شدت همبسته است.

به منظور اعتبارسنجی و بررسی صحت مقادیر تخمینی شاخص فرساینده گی باران با استفاده از مدل های این تحقیق، از رابطه همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و تخمین برای نقاط معین استفاده شده است. متوسط ضریب تعیین بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر تخمینی شاخص فرساینده گی از مدل های مختلف حدود $0/66$ درصد به دست آمده که همبستگی نسبتاً خوبی را بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر مشاهده شده در نقاط نمونه محسوب می شود (شکل ۶).

وجود همبستگی نسبتاً قوی بین داده های تخمین و مشاهده نشان دهنده عملکرد خوب روش LPI در این مطالعه است که با نتایج $Meusburger$ و همکاران در سال ۲۰۱۲، در اعتبارسنجی ($0/69$ درصد) مشابهت دارد. تعداد مناسب ایستگاه ها، پراکنش یکنواخت و استفاده از ایستگاه های کمکی خارج از حوزه میمه در دستیابی به این نتیجه موثر بوده است.

توزیع فاکتور فرساینده گی باران به روش موضعی (شکل ۸) نشان می دهد که شاخص فرساینده گی باران به تدریج از جنوب به شمال حوزه افزایش می یابد که به درستی از تغییرات ارتفاع و به تبع آن تغییرات بارندگی حوزه پیروی می کند. هرچند همانطور که در (شکل ۴) آمده، گرچه همبستگی کلی بارندگی و ارتفاع در منطقه میمه از همبستگی خوبی برخوردار است لیکن پراکنده گی مشاهدات بارندگی در اطراف خط برازش با افزایش ارتفاع به طور نامظمی افزایش یافته است.

شکل ۲ در نمایش توزیع شاخص فرساینده گی باران نیز توزیعی با دو قله را نشان می دهد که نشان دهنده توزیع ناهمگن این شاخص ناشی از توزیع ناهمگن بارندگی در ایستگاه های هم تراز است. در نتیجه انتظار می رود نتایج تخمین حاصل از مدل سازی در این نواحی از خطای تخمین بیشتری برخوردار باشد که در مطالعه همبستگی مقادیر حاصل از تخمین و مشاهده (شکل ۶) برای مقادیر بالاتر شاخص فرساینده گی باران مشهود است. به همین ترتیب خطای نقشه حاصل از تخمین در شکل ۸ نیز در نواحی مرتفع تر بیشتر خواهد بود.

نقشه حاصل از پهنه بندی شاخص فرساینده گی باران از نقش موثری در برنامه ریزی منطقه ای، ارائه و اجرای طرح های مناسب حفاظت خاک و کمک به تحقیقات آبی حوزه های آبخیز برخوردار است (Hudson, 1995؛ Mikhalova et al., 1997؛ Shamshad et al., 2008). همچنین می توان از این نقشه ها در مدل های برآورد فرسایش (Wischmeier and Smith, 1987) سود برد.

منابع مورد استفاده

- حشبی، ه.، حسنی، س. م.، محمدی، ج. و رحمانی، ۱۳۸۵. کاربرد زمین آمار در مطالعات خاک‌های مناطق جنگلی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۴(۱): ۲۰-۱۱،
- حسینی پاک، ع. ا. ۱۳۸۶. زمین آمار. دانشگاه تهران، ۳۸۰ صفحه.
- حکیم‌خانی، ش.، مهدیان، م. ح. و عرب‌خدیری، م. ۱۳۸۷. تهیه نقشه فرساینده‌گی باران برای حوضه دریاچه نمک. مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰(۶): ۷۱۲-۷۲۶.
- ذیحی، ع. ر.، سلیمانی، ک.، شعبانی، م. و آبروش، ص. ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه‌ی موردی: استان قم)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۸: ۱۱۲-۱۰۱. ۱۳۹۰.
- شعبانی، اف.، متین‌فر، ح. ر.، آرخی، ص. و رحیمی هرآبادی، س. ۱۳۹۰. مدلینگ فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از روش زمین آمار (مطالعه‌ی موردی: حوضه آبخیز سد ایلام)، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲(۲): ۵۵-۶۷.
- علوی‌پناه، س. ک.، متین‌فر، ح. ر. و رفیعی امام، ا. ۱۳۸۸. کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاک شناسی رقومی). انتشارات دانشگاه تهران، ۴۵۷ صفحه.
- کریمی‌نظر، م.، فخریه، ا.، فیض‌نیا، س.، راشکی، ا. و میری سلیمان، ج. ۱۳۸۸. ارزیابی برخی روش‌های زمین‌آمار در برآورد سرعت آستانه فرسایش بادی. در دشت سیستان. مرتع و آبخیزداری- منابع طبیعی ایران، ۶۲(۳): ۴۰۵-۴۱۷.
- متین‌فر، ح. ر.، شعبانی، ا. و عزیزقلاتی، س. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی عناصر غذایی خاک به کمک روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت سیلاخور). دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو.
- میرموسوی، ح.، مزیدی، ا. و خسروی، ی. ۱۳۸۹. تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان اصفهان)، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۰(۳۰): ۱۲۰-۱۰۵.
- وفاخواه، م.، محسنی ساروی، م.، مهدوی، م. و علوی پناه، س. ک. ۱۳۸۷. کاربرد زمین‌آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزه آبخیز اورازان، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲(۴): ۵۵-۴۹.
- Arekhi, S., Niazi Y. and Kalteh, A. M. 2010. Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS techniques: a case study, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 5 (2): 285- 296.
- Arnoldus, H. M. J, 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soils loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin*, 34, pp. 39-51.
- Arnoldus, H. M. J, 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M., Gabriels, D. Eds., *Assessment of Erosion*. Chichester, New York, pp. 127-132.
- Bohling, G, 2005. Introduction to GeoStatistics and Variogram Analysis, Assistant Scientist Kansas Geological Survey
- Ferro, V., Giordano, G. and Lovino, M. 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrol Sci J*, 36 (6):549-564.
- Corwin, D.L., Sorensen, M. and 1992. Rhoades, J.D. 1992. Using GIS to locate salinity on irrigated soils. Proc. 8th Conf. Computing in Civil Engineering in Conjunction with A/E/C system '92, TCCP/ASCE-Dallas, TX, June, 7 (9): 468-485.
- Ferro, V., Giordano, G. and Lovino, M. 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrol Sci J*, 36 (6): 549-564.
- Gitas, L. Z., Douros, k., Minakou, C. Silleos, G.N. and Karydas, C.G. 2009. Multitemporal soil erosion risk assessment In N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSeI eProceedings* 8.

- Goovaerts, P. 2000. Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation Rainfall. *Journal of Hydrology, Amsterdam*. 228 (1-2):133-129.
- Guang-ming, Z., Hong-wei, L., Xiang-can, J. and M. XU. 2005. Assessment of the water quality and nutrition of the Dongting Lake with wavelet neural network. *Journal of Hunan University*, 32: 91-94.
- Hargrove, W.W. 2001. Interpolation of Rainfall in Switzerd Using Regularized Splines with Tension, *Geographic Information and Spatial Technologies Group Oak Ridge National Laboratory*. <http://www.geobabble.org/~hnw/sic97>.
- Hirsche, K., Boerner, S., Kalkomey, C. and Gastaldi, C. 1998. Avoiding pitfalls in geostatistical reservoir characterization: A survival guide: The leading Edge" 17, 493-504.
- Hohn, M.E. 1998. *Geostatistics and petroleum geology*". Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Hosseini, E., Gallichand, J. and Caron, J. 1993. Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in southwest Iran. *ASAE*, 36 (6): 1687-1693.
- Hudson, N. 1995. *Soil Conservation*. (3rd edition) B. T. Bats ford Limited, London. 391pp.
- Johnston, K. J. 2000. Using ArcGIS geostatistics analyst. New York: ESRI. KOULI, equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). *Environ Geol*, 50: 1129-1140.
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and N. 2001. Lucas. Using Geostatistical Analyst". *Environmental Systems Research Institute, Inc (ESRI)*.
- Kastelec, D. and Kosmelj, K. 2002. Spatial interpolation of mean yearly precipitation using universal kriging. *Developments in statistics*, 17:149-162.
- Lal, R. 1990. *Soil Erosion in the Tropics. Principles and Management*. McGraw-Hill, New York, 580 pp.
- Lu, G.Y. and Wong, D.W. 2008. An Adaptive Inverse-Distance Weighting spatial Interpolation Technique. *Comp. Geosci*, 34: 1044-1055.
- Meusburger, K., Steel, A., Panagos, P., Montanarella, L. and C. Alewell. 2012. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 167-177.
- 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.
- Mingxin, M.E.N., Zhenrong, Y. U. and Hao, X. U. 2008. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province, China, *Front. Agric. China*, 2 (3): 281-289.
- Morgan, R.P.C. 1995. *Soil Erosion and Conservation*, Addison-Wesley, London, 198 pp.
- Nalder, J.A. and Wein, R.W. 1998. Spatial interpolation of climate normal: Test of a new method. *Canadian Boreal Forest. Agr. Forest*, 94 (4): 211-225.
- Onori, F., Bonis P.D. and Grauso, S. 2006. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). *Environ Geol*, 50: 1129- 1140.
- Renard, K.G. and Freimund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *J Hydrol*, 157:287-306.
- Shamshad, A., Azhari, M.N., Isa, M. H., Wan Hussin, W.M.A. 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: 423-432
- Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil", *Catena*, 57, 251–259.
- Tuominen, S., Fish, S. and Poso, S. 2003. Combining remote sensing, data from earlier inventories, and geostatistical interpolation in multi-source forest inventory, *Can. J. For. Res*, 33: 624- 634.
- Webster, R. and Oliver, M.A. 2000. *Geostatistics for environmental scientists*". Wiley press, pp 271.
- Wischmeier, W. H., and Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion. Losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, pp 58.
- Wischmeier. W.H. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J Soil and Water Conserv*, 26: 189-193.
- Yu, B., and Rosewell, C.J. 1996. A robust estimator of the R factor for the Universal Soil Loss Equation". *Trans Am Soc Agric Eng*, 39 (2):559–561.
- Zahedi Amiri, G.h. 1998. Relation between ground vegetation and soil characteristic in a mixed hardwood stand", Ph.D. thesis, university of Gent, Belgium, academic press, 319 pp.
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and Lucas, N. 2001. *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. Esri Redlands. USA.
- Ruppert, D. 1997. Local polynomial regression and its applications in environmental statistics. *Statistics for the Environment* 3: 155-173.

Efficiencies of Various Geostatistical Algorithms for Determining the Rainfall Erosivity Factor using the GIS (A Case Study: The Meymeh Watershed in Ilam Province)

***Hassan Fathizad¹, Mohammad Ali Hakimzadeh², Haji karimi³, Rashid Falah Shamsi⁴**

^{*1} Ph.D. student of Combat Desertification, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

²Assistant Professor, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

³Associate Professor, Natural Resources Department, Agriculture College, Ilam University, Ilam, Iran

⁴Associate Professor, Natural Resources Department, Agriculture College, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Name of Corresponding Author: *Hassan Fathizad

Contact Address: Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran.

Telephone Number: 0918-638-1614

Email: Hasan.fathizad@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was to employ geostatistical methods in order to calculate and model the rainfall erosivity factor using the data collected at 26 rainfall stations for a 23-year period (1987-2010), in the Meymeh watershed in Ilam Province. After selecting representative stations in the study area, the monthly and annual rainfalls in these stations were reconstructed in order to calculate the rainfall erosivity factor. The Fournier index was then used to obtain the R factor of the stations. Next, the map of the rainfall erosivity factor was derived, and variograms were generated to show the spatial correlation between data related to rainfall erosivity. A linear Variogram has been used for final interpolation because of its best fit (Correlation coefficient 0.836). Moreover, the inverse distance weighting (IDW) interpolation, global polynomial interpolation (GPI), radial basis function (RBF), local polynomial interpolation (LPI), and kriging were employed for Interpolating the value of the erosion index. Results showed the LPI method RMSE = 51.28, respectively, had the least error and, hence, were introduced as the best method for zoning the rainfall erosivity factor in the Meymeh watershed.

Keywords: Geostatistics, rainfall erosivity, interpolation, the Meymeh watershed, Ilam Province