

نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی | سال نهم | شماره سی و ششم | زمستان ۱۳۹۷

تهیه نقشه فرساینده‌گی باران استان لرستان با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ

جواد سالاروند^۱، فرهاد قاسمی آقباش^{۲*}، زهرا اسداله‌ی^۳

۱- دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۲* - مسئول مکاتبات، استادیار علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۳ - استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۳/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۸

چکیده

فرساینده‌گی باران به صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود. اگر سایر خصوصیات موثر بر فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان هدررفت خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده‌گی باران خواهد بود. در پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان لرستان، در ابتدا میزان فرساینده‌گی باران در ۵۳ ایستگاه هواشناسی در سطح استان با شاخص اصلاح شده فورنیه (MF) محاسبه شد. در ادامه برای نشان دادن همبستگی مکانی میان داده‌های فرساینده‌گی باران از ترسیم واریوگرام در محیط نرم‌افزار $GS^+ 5.1.1$ استفاده شد. در نهایت با بکارگیری روش زمین‌آماری کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS 10.3، توزیع مکانی فرساینده‌گی باران نقشه‌سازی شد و به منظور انتخاب روش مناسب‌تر، دو روش کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده با یکدیگر مقایسه شدند. بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درون‌یابی انجام شده توسط روش‌های مورد بررسی در این تحقیق، در ادامه صحت درون‌یابی با روش ارزیابی متقابل مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده روش کریجینگ معمولی بدلیل بالاتر بودن مقدار R^2 و پایین‌تر بودن مقادیر میانگین خطا (ME)، میانگین استاندارد شده خطا (MSE)، ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا (RMSE) دقت بالاتری را در مقایسه با روش کریجینگ ساده نشان داد. روش کریجینگ معمولی با میزان میانگین خطای برآورد پایین‌تر (۰/۰۶) و مربع میانگین ریشه خطا (۰/۴) مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش ارزیابی شد. همچنین میزان همبستگی (R^2) مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای فرساینده‌گی باران با روش کریجینگ معمولی ۰/۶۸ برآورد شد. در نهایت با استفاده از واریوگرام نمایی و روش کریجینگ معمولی نقشه فرساینده‌گی باران در سطح استان ترسیم شد که براساس آن مناطق واقع در امتداد شمالی-جنوبی و مرکزی استان لرستان دارای فرساینده‌گی زیاد و مناطق غربی و شرقی دارای فرساینده‌گی کمتری هستند. نقشه فرساینده‌گی باران تولید شده در این پژوهش می‌تواند به منظور برآورد میزان هدررفت خاک با مدل USLE و شناسایی مناطق با پتانسیل فرسایش زیاد مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: فرسایش، کریجینگ، واریوگرام، درون‌یابی.

مقدمه

ریزش باران برای رویش و توسعه گیاهی، کشاورزی و همچنین افزایش زی‌توده بوم‌سازهای زمینی ضروری بوده اما می‌تواند به عنوان عامل فرسایش نیز مطرح شود که در این صورت ذرات خاک را جدا کرده و به صورت رواناب حمل می‌کند (Ballabio et al., 2017). پیش‌بینی فرسایش خاک برای مدیریت بهینه سرزمین و همچنین استفاده از خاک ضرورت دارد (Oliveira et al., 2013). فرسایندگی باران به عنوان یک عامل پویا می‌تواند جنگلداری، کشاورزی، هیدرولوژی، مدیریت آب و خدمات اکوسیستم را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین تهیه نقشه فرسایندگی باران می‌تواند در تصمیم سازی‌ها مورد استفاده قرار بگیرد (Wang et al., 2002). فرسایندگی باران به صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود (Lal, 1990). قدرت فرسایندگی باران نقش زیادی در فرسایش خاک داشته و می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش در مناطق مورد نظر باشد (Morgan, 1995). مفهوم فرسایندگی باران توسط ویشمایر و اسمیت در سال ۱۹۷۸ به منظور لحاظ کردن تاثیر اقلیم بر فرسایش ارائه شد (Wichmeier and Smith, 1978). اگر سایر خصوصیات موثر بر فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان تلفات خاک مستقیماً متناسب با میزان فرسایندگی باران خواهد بود (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۴). با توجه به تغییر قابل ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کم بودن ایستگاه‌های باران سنجی برای ثبت میزان بارندگی از سوی دیگر، ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی در زمان و مکان، اجتناب ناپذیر است (فریدی و همکاران، ۱۳۹۲). دستیابی به توزیع مکانی بارش بر اساس داده‌های نقطه‌ای بارش که از ایستگاه‌های باران سنجی بدست می‌آیند بر اساس یکی از دو روش درون‌یابی و برون‌یابی امکان پذیر می‌شود. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، درون‌یابی می‌گویند (قهرودی تالی، ۱۳۸۴).

تعیین مناسب‌ترین روش‌های درون‌یابی در سطح یک منطقه و چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، امری ضروری جهت توزیع مکانی بارش است. روش‌های مختلفی برای برآورد و

تخمین متغیرهایی از این دست وجود دارد که به عنوان نمونه می‌توان به روش‌های کلاسیک، نظیر تیسس^۱ و میانگین حسابی اشاره کرد. این روش‌ها گرچه همگی از نظر محاسبات سریع و آسان هستند، ولی به دلایلی از جمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین آنها از دقت خوبی برخوردار نیستند. روش‌های دیگری نیز وجود دارد که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار هستند که از آن جمله روش زمین‌آمار^۲ است (لشنی‌زند، ۱۳۸۳) که کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه‌برداری شده را مد نظر قرار داده و تخمین را بر اساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهد (تازه و خسروی، ۱۳۸۷). لذا از روش‌های زمین‌آمار امروزه برای درون‌یابی ایستگاه‌های بارندگی و سایر متغیرهایی که وابستگی مکانی دارند استفاده می‌شود (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰). تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی در سطح یک منطقه و تبیین چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، برای برآورد توزیع مکانی بارش و به دنبال آن فرسایندگی باران ضروری است. محققان بسیاری به مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی پرداخته‌اند که نشان‌دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش است. از مطالعات خارجی انجام شده در این زمینه می‌توان به کین و همکاران (Qin et al., 2016) اشاره نمود که تغییرات زمانی- مکانی فرسایندگی باران را طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۵۱ در مینلند کشور چین مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش روش‌های درون‌یابی چندجمله‌ای، کریجینگ و کوکریجینگ، جهت انتخاب روش مناسب تخمین توزیع مکانی فرسایندگی باران با یکدیگر مقایسه شدند و روش کوکریجینگ عام به عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد که حاکی از افزایش متوسط فرسایندگی باران از شمال غربی به جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بود. بالابیو و همکاران (Ballabio et al., 2017) با تهیه نقشه فرسایندگی باران برای اروپا گزارش دادند که افزایش فرسایندگی از زمستان به تابستان و از غرب به شرق متمایل بوده است. همچنین این نقشه توصیف واضحی از مناطق با

1. Thissen

2. Geostatistic

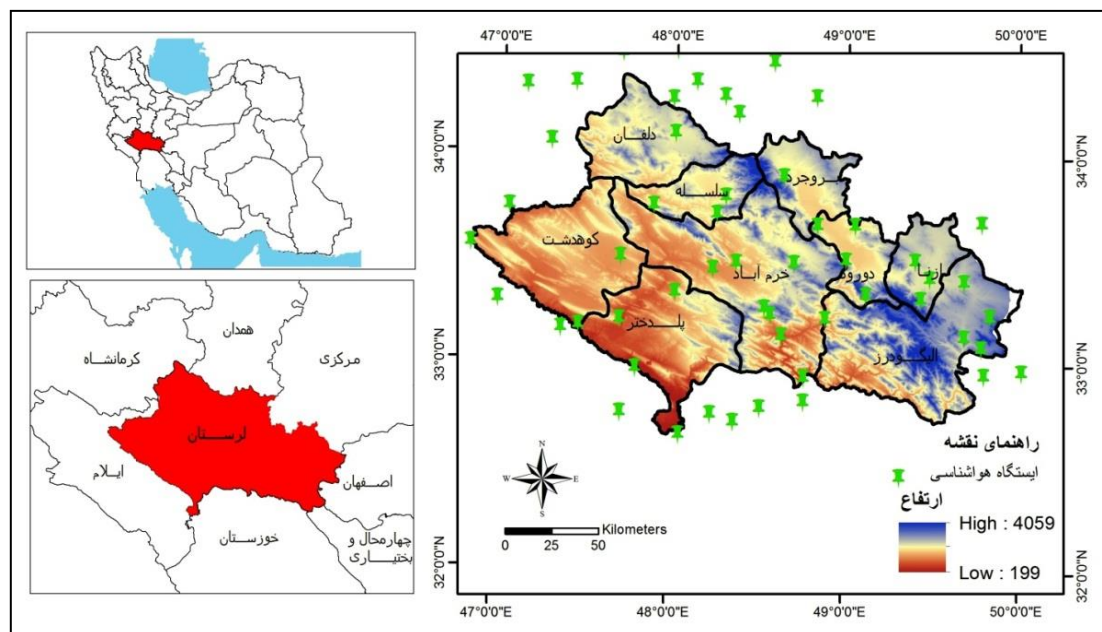
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با مساحتی حدود ۲۸۳۰۸ کیلومتر مربع در ناحیه جنوب غربی ایران در محدوده جغرافیایی ۴۶°۵۱' و ۵۰°۳۰' طول شرقی و ۳۲°۳۷' و ۳۴°۲۲' عرض شمالی واقع شده است. میانگین ارتفاع آن بیش از ۲۲۰۰ متر از سطح دریا است، پست‌ترین نقطه استان با ارتفاع ۲۳۹ متر در دشت‌های استان و بلندترین قله آن اشترانکوه با ارتفاع ۴۰۸۰ متر از سطح دریا در میان رشته کوه زاگرس قرار دارد. بارندگی استان بین ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در نوسان است. به طور کلی هوای استان لرستان، به دلیل وجود رودخانه‌ها و کوه‌های زیاد، معتدل و دارای فصول منظمی باشد، میزان بارندگی در این استان نسبتاً مناسب و در نواحی کوهستانی زمستان‌های سرد و پربرف و تابستان‌های ملایم و مرطوب وجود دارد (سالنامه آماری لرستان، ۱۳۹۳). موقعیت استان لرستان در کشور در شکل (۱) نشان داده شده است. همچنین موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (سینوپتیک و باران‌سنجی) در این شکل قابل مشاهده است.

الگوهای مختلف فرسایش فصلی را ارایه نموده است. سانچز - مورنو و همکاران (Sanchez - Moreno et al., 2014) ضمن تهیه نقشه فرسایش‌دگی باران برای مجمع‌الجزایر کیپ واقع در سواحل غربی آفریقا و شمال اقیانوس اطلس گزارش دادند که با توجه به ارتباط قوی بین ریزش باران و ارتفاع فرسایش بیشتر در ارتفاعات با شیب‌های تند و خاک سطحی که مستعد فرسایش هستند رخ می‌دهد. فریدی و همکاران (۱۳۹۲) با بکارگیری سه نوع روش کریجینگ ساده، عام و معمولی نقشه فرسایش‌دگی باران را در حوزه آبخیز گابریک ترسیم نمودند. براساس نتایج مشخص شد که روش کریجینگ معمولی با مربع میانگین ریشه خطا ۳۹۴/۴۲ از میان روش‌های بکارگرفته شده مناسب‌ترین روش است. غلامی و همکاران (۱۳۹۴) به منظور تهیه نقشه فرسایش‌دگی باران استان ایلام با استفاده از داده‌های ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی در طی یک دوره ۲۳ ساله به بررسی کارایی روش‌های مختلف زمین‌آماری شامل روش عکس فاصله^۱ (IDW)، چند جمله‌ای جهانی^۲ (GPI)، تابع شعاعی^۳ (RBF)، درون‌یاب موضعی^۴ (LPI) و کریجینگ^۵ (K) پرداختند. نتایج نشان داد که روش GPI با ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۲۸/۹۳ بهترین روش است. با توجه به اینکه آگاهی از مقدار فرسایش‌دگی باران و تهیه نقشه فرسایش‌دگی باران از راهکارهای مهم در کنترل فرسایش و حفاظت خاک محسوب می‌شود، در پژوهش حاضر تلاش می‌شود تا میزان فرسایش‌دگی باران ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه با استفاده از شاخص اصلاح شده فورنیه برآورد شود و در ادامه دو روش درون‌یابی مبتنی بر کریجینگ شامل کریجینگ ساده و معمولی جهت تخمین توزیع مکانی فرسایش‌دگی باران در محیط نرم‌افزاری ArcGIS10.3 و GS+5.1.1 مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

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



شکل ۱- موقعیت استان لرستان و ایستگاه‌های هواشناسی (سینوپتیک و باران‌سنجی) در سطح استان لرستان

فرساینده گی باران

متداول‌ترین شاخص فرساینده گی باران، فاکتور R مربوط به مدل‌های USLE (Yu and Rosewell, 1996) و RUSLE (Renard and Freimund, 1994) است.

$$R = E.I30 = (210 + \log_{10} I30) * \quad (1)$$

I30 فاکتور R، از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای (I30) که طبق رابطه (۱) بدست می‌آید. از آنجا که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود هستند، غالباً از مقادیر متوسط بارندگی سالیانه و ماهیانه جهت برآورد فاکتور R استفاده می‌شود. برای محاسبه فاکتور R، ایستگاه‌های هواشناسی با آمار طولانی مدت و پراکنش مناسب در سطح استان انتخاب شدند و یک دوره مشترک آماری ۱۵ ساله برای کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی در نظر گرفته شد.

پس از انتخاب دوره مشترک آماری، تحلیل داده‌های غیرمنطقی انجام و سپس اقدام به بررسی همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون توالی در نرم‌افزار SPSS شد. پس از آماده‌سازی داده‌ها، در مرحله بعد با استفاده از رابطه (۲) شاخص اصلاح شده فورنیه^۱ (MF) برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد (Renard and Freimund, 1994).

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

که در آن p_i : متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i و p متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است.

در این مطالعه، با استفاده از رابطه (۳)، شاخص MF برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه شد و سپس با جایگذاری آن در روابط زیر که برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده است، مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌ها برآورد شد (Renard and Freimund, 1994).

$$R - factor = (0.07397 * F^{1.847}) \quad F < 55mm \quad \text{معادله ۳}$$

$$R - factor = (95.77 - 6.081 * F + 0.477 * F^2) \quad F \geq 55mm$$

شاخص‌های آماری

معادله ۴ $y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n (Z(x_i + h) - Z(x_i))^2$

$y(h)$: مقدار واریوگرام در فاصله (h)

$Z(x_i+h)$: مقدار اندازه گیری شده متغیر در موقعیت (xi+h)

$Z(x_i)$: مقدار اندازه گیری شده متغیر در موقعیت (xi)

$N(h)$: تعداد اندازه گیری‌های انجام شده در محدوده مورد تحقیق

در واریوگرافی از سه مولفه دامنه تاثیر، حدآستانه (سقف) و اثرقطعه‌ای برای تشریح و مدل‌سازی رفتار واریوگرام استفاده می‌شود (شکل ۲)

اولین گام در استفاده از روش‌های زمین‌آماري کريجينگ، مقایسه داده با توزیع نرمال است که در صورت عدم توزیع نرمال داده‌ها، توزیع داده‌ها با استفاده از روش لوگ نرمال یا باکس-کاکس^۱ به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۸۶). در این پژوهش، در ابتدا توزیع داده‌های فاکتور فرساینده‌گی باران ترسیم شد و میزان انحراف آن از توزیع نرمال با استفاده از شاخص‌های آماری همچون میانگین، چولگی و سایر پارامترهای آماری در محیط نرم‌افزار GS+5.1.1 محاسبه گردید و در ادامه روش تبدیل با استفاده از لوگ نرمال استفاده شد.

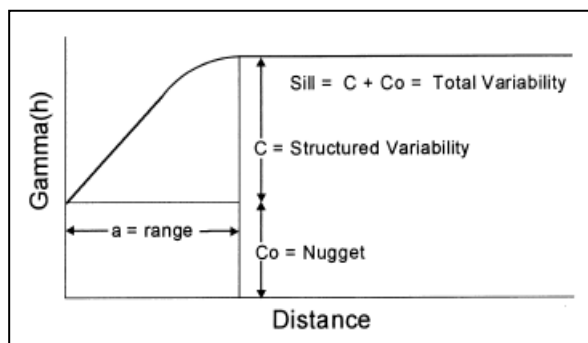
واریوگرام

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 کروی^۲، نمایی^۳، سهمی^۴ و خطی^۵ استفاده گردید (Cressie, 1993).

واریوگرام که در واقع نمودار واریانس بر مبنای فاصله بین نمونه‌هاست، رکن اصلی زمین‌آمار است که ساختار ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را نشان می‌دهد. تابع واریوگرام به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود:

2. Spherical Model
2. Exponential Model
3. Parabolic Model
4. Linear Model

1. BOX-COX



شکل ۲- نمای شماتیک از یک واریوگرام به همراه پارامترهای آن (Cressie, 1993)

Co : اثر قطعه‌ای

C : حد آستانه (سقف)

a : دامنه تاثیر

مدل کروی:

$$\gamma(h) = c_0 + c_1 \left[\frac{3}{2} \times \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \times \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (5)$$

مدل نمایی:

$$\gamma(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (6)$$

مدل سهمی:

$$\gamma(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a}\right) \right] \quad (7)$$

مدل خطی:

$$\gamma(h) = \alpha + \beta h^\theta \quad (8)$$

در این حالت مقدار میانگین مستقل از مختصات ولی مقدار آن مجهول است (رابطه ۹). 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.

$$Z(S) = m(s) + \varepsilon(s) \quad (9)$$

که در این رابطه $Z(S)$: متغیر برآورد شده، $m(s)$: موقعیت مکانی و $\varepsilon(s)$ 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 (فتحی زاد و همکاران، ۱۳۹۳).

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

روش زمین‌آماري کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و در مورد آن می‌توان گفت بهترین تخمین‌گر خطی نااریب به شمار می‌رود (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰). 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).

انواع کریجینگ براساس مشخصات مکانی

کریجینگ معمولی

تعیین دقت درون‌یابی و انتخاب روش درون

یابی

بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درون‌یابی انجام شده توسط روش‌های مورد بررسی در این تحقیق، در ادامه صحت درون‌یابی با روش ارزیابی متقابل مورد ارزیابی قرار گرفت. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، بطوریکه در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، نقاط برآوردی وجود خواهد داشت. با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان

$$\leftarrow \text{ریشه دوم مربع میانگین خطا (RMSE):} \quad (11)$$

$$\leftarrow \text{میانگین خطای استاندارد (MSE):} \quad (12)$$

خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد نمود. معیارهای مختلفی برای اینکار وجود دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به میانگین خطا، ریشه دوم مربع میانگین خطا و میانگین خطای استاندارد اشاره نمود (فتحی زاد و همکاران، ۱۳۹۳). میانگین خطا (ME): ME یا میانگین اختلاف بین مقدار برآورد شده $Z^*(X_i)$ و مقدار مشاهده شده $Z(X_i)$ در نقطه نام است و با رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود. به طور کلی اگر برآورد داده‌ها بدون انحراف باشد، ME به صفر نزدیک‌تر است و هر چه فاصله بیشتر شود میزان انحراف در درون‌یابی نیز بیشتر می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (z_i^* - z_i)^2}{n}}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{z_i^* - z_i}{\text{Standard Error}}}{n - 1}$$

نتایج

نتایج حاصل از محاسبه میزان فرساینده‌گی باران (R) در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از روابط (۲) و (۳) در جدول ۱ ارائه شده است

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

شماره	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)	MF (میلی‌متر)	R ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$)
۱	تنگ پنج	۶۰۰	۲۹۱۱۹۳	۳۶۶۱۰۹	۱۱۷۵/۵	۱۸۳/۱	۸۷۰/۲
۲	کشور	۷۷۰	۲۷۹۲۲۳	۳۶۸۵۶۲	۹۴۷/۵	۱۴۵/۳	۵۳۹/۴
۳	تله زنگ	۴۴۰	۲۹۰۹۱۹	۳۳۳۱۷۲	۹۰۷/۴	۱۴۰/۳	۵۰۲/۲
۴	سنگ تراش	۱۵۸۰	۲۷۳۲۶۱	۳۶۷۹۷۹۴	۸۰۱/۷	۱۲۲/۹	۳۸۱/۲
۵	نوژیان	۱۹۸۴	۲۷۰۲۴۱	۳۸۳۵۶۴	۷۷۸/۶	۱۱۴/۰	۳۲۵/۸
۶	سپید دشت	۹۷۰	۳۰۲۷۳۶	۳۶۷۳۰۴	۷۴۸/۲	۱۰۹/۲	۲۹۷/۶
۷	کمندان	۲۰۸۰	۳۵۴۱۶۶	۳۸۷۴۸۹	۷۱۶/۴	۹۷/۱	۲۳۲/۵
۸	بالارود	۴۹۴	۲۵۳۱۸۵	۳۲۲۹۴۴	۷۱۴/۵	۱۱۲/۵	۳۱۷/۱
۹	دورود	۱۵۲۲	۳۱۴۲۱۴	۳۷۰۸۵۰۹	۶۳۴/۲	۹۰/۵	۲۰۰/۶
۱۰	مازو	۴۵۰	۲۶۷۴۲۲	۳۶۲۹۹۸۸	۵۹۳/۷	۱۰۱/۴	۲۵۴/۲
۱۱	بیدرویه	۶۰۰	۲۴۰۷۸۱	۳۶۲۶۹۶۰	۵۸۴/۲	۱۰۰/۰	۲۴۷/۳
۱۲	کاظم آباد	۲۰۰۰	۳۷۷۱۸۳	۳۶۶۸۴۰	۵۵۲/۷	۷۶/۰	۱۳۸/۹
۱۳	دم رود	۹۵۰	۲۲۲۳۱۲	۳۹۹۲۲۱۶	۵۲۶/۰	۸۴/۵	۱۷۳/۸
۱۴	خرم آباد	۱۱۲۵	۲۵۵۳۲۱	۳۷۰۷۹۷۵	۵۲۰/۸	۷۳/۷	۱۳۰/۳

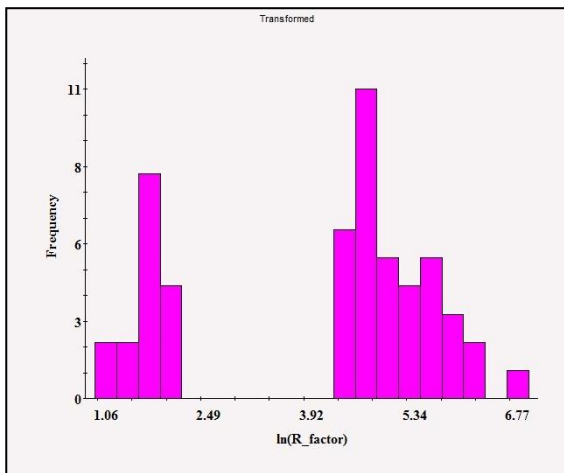
۱۳۲/۷	۷۴/۴	۵۰۸۳	۴۸۳۶۰۲۱	۴۰۸۱۰۵	۲۲۰۰	چغیورت	۱۵
۱۰۸/۵	۶۷/۶	۴۹۳/۵	۳۸۲۰۷۴۴	۱۹۵۳۹۷	۱۳۸۰	صحنه	۱۶
۱۲۷/۲	۷۲/۹	۴۹۳/۲	۳۳۴۱۳۸	۲۴۵۱۶۶	۱۵۳۰	کاکا رضا	۱۷
۱۰۷/۰	۶۷/۲	۴۹۲/۵	۳۶۶۱۱۸۳	۳۸۶۴۴۸	۲۳۰۰	قلعه هما	۱۸
۲۱۵/۹	۹۳/۷	۴۸۹/۶	۳۶۸۹۸۴۲	۱۲۷۴۱۴	۱۰۰۰	کیم	۱۹
۲۰۶/۶	۹۱/۸	۴۸۰/۱	۳۶۲۸۳۴۴	۱۹۲۳۵۲	۱۶۲۰	مورموری	۳۴
۱۰۷/۲	۶۷/۳	۴۷۹/۴	۳۷۰۴۶۰۰	۲۴۲۸۳۰	۱۱۴۰	چم انجیر	۲۰
۱۰۱/۰	۶۵/۴	۴۷۰/۷	۳۸۹۸۹۲۵	۳۲۴۷۱۹	۱۱۸۲	ناصرالدین	۲۱
۱۲۹/۳	۷۳/۶	۴۶۶/۹	۳۶۵۲۱۴۰	۲۰۰۸۹۳	۴۵۰	چلوگیر	۲۲
۱۱۰/۹	۶۸/۳	۴۶۶/۰	۳۷۷۳۰۸	۲۲۳۳۳۴	۱۸۵۹	نورآباد	۲۳
۱۱۰/۶	۶۸/۲	۴۵۷/۷	۳۷۴۳۲۵۸	۲۵۰۰۴۲	۱۵۶۷	الشتر	۲۴
۱۰۳/۵	۶۶/۱	۴۵۴/۷	۳۷۹۵۸۴۳	۲۲۲۲۴۴	۲۰۳۰	سیاه دره	۲۵
۸۷/۸	۶۱/۲	۴۵۰/۷	۳۷۲۳۰۴	۲۹۹۱۱۶	۱۳۲۰	چالان جولان	۲۶
۹۴/۸	۶۳/۵	۴۴۰/۰	۳۷۳۹۳۶	۱۵۶۸۸۵	۱۶۴۰	سر فیروز آباد	۲۷
۱۱۶/۵	۶۹/۹	۴۳۵/۲	۳۶۱۶۱۵۱	۲۲۳۷۷۶	۳۳۵	پل زال	۲۸
۱۰۰/۱	۶۵/۱	۴۳۴/۶	۳۷۲۰۰۴۷	۱۱۳۰۶۷	۷۰۳	ورکچ	۳۰
۸۶/۲	۶۰/۷	۴۲۵/۲	۳۷۰۷۸۶۵	۳۵۱۳۷۶	۱۸۷۱	ازنا	۲۹
۷۲/۹	۵۶/۰	۴۲۲/۱	۳۷۵۳۵۹۰	۲۸۱۱۶۴	۱۶۳۲	بروجرد	۳۱
۱۱۳/۹	۶۹/۲	۴۱۶/۹	۳۶۴۶۳۸۳	۳۸۷۸۳۴	۳۸۰	جم گز	۳۲
۷۶/۶	۵۷/۴	۴۰۵/۵	۳۸۰۴۹۳۶	۱۷۰۳۰۶	۱۲۷۵	پل چهار	۳۳
۶۳	۵۲/۰	۴۰۴/۸	۳۷۰۷۲۳۸	۲۸۶۳۰۰	۱۵۱۰	دیواندره	۳۵
۷۰/۰	۵۵/۰	۳۹۵/۴	۳۸۲۶۸۴	۲۲۴۵۴۵	۱۴۳۰	کنگاور	۳۶
۶/۵	۵۲/۶	۳۸۵/۹	۳۸۰۴۰۴۴	۱۴۴۱۵۳	۱۲۸۴	پل کهنه	۳۸
۶/۸	۵۴/۰	۳۷۸/۹	۳۶۹۶۴۰۷	۳۷۷۵۵۶	۱۹۷۲	الیگودرز	۳۷
۸۱/۱	۵۸/۹	۳۶۳/۴	۳۶۷۵۳۲۸	۱۷۰۴۶۸	۵۲۰	چم زاب	۳۹
۷/۰	۵۴/۷	۳۶۲/۳	۳۶۷۸۳۱۴	۱۹۲۳۵۷	۷۱۳	پلدختر	۴۰
۵/۸	۴۹/۴	۳۶۱/۸	۳۸۰۴۷۳۲	۲۳۴۷۸۶	۱۴۵۰	فیروز آباد فیروزان	۴۱
۵/۳	۴۷/۰	۳۴۳/۴	۳۷۱۰۵۹۶	۱۹۳۴۱۲	۱۱۹۷	کوهدشت	۴۲
۶/۷	۵۳/۶	۳۳۶/۷	۳۳۳۹۶۰۲	۱۳۳۹۷۸	۸۴۰	هولیان	۴۳
۵/۴	۴۷/۷	۳۳۴/۱	۳۸۱۴۷۳۹	۲۷۶۴۵۴	۱۷۴۰	خیر آباد همدان	۴۴
۴/۵	۴۳/۲	۳۲۷/۲	۳۶۷۷۷۶۱	۳۹۱۳۰۰	۱۳۸۰	آب باریک	۴۵
۵/۰	۴۵/۶	۳۳۳/۱	۳۷۲۶۹۰۴	۳۱۹۲۰۸	۱۵۶۰	مروک	۴۶
۴/۶	۴۳/۸	۳۱۹/۹	۳۶۹۸۵۰۸	۳۵۸۹۸۲	۱۸۳۰	قاسم آباد	۴۷
۵/۰	۴۵/۶	۳۱۸/۱	۳۶۹۸۵۰۸	۲۵۷۳۵۷	۱۷۴۰	نهایند	۴۸
۵/۲	۴۶/۷	۳۱۸/۰	۳۷۲۷۷۱۰	۳۸۷۲۲۵	۱۶۳۰	فوزیه	۴۹
۵/۳	۴۷/۱	۳۰۱/۶	۳۷۳۸۸۰۲	۲۱۱۲۸۷	۱۰۰۰	پل کشکان	۵۰
۳/۵	۳۷/۴	۲۷۰/۶	۳۷۹۵۷۳۰	۲۹۹۰۲۸	۱۷۲۵	ملایر	۵۱
۳/۲	۳۶/۱	۲۶۳/۰	۳۶۳۷۹۷	۱۶۱۰۷۳	۸۶۰	گل زرد دره شهر	۵۲
۲/۹	۳۳/۸	۲۴۷/۰	۳۷۹۶۹۱۳	۲۴۹۹۲۳	۱۵۲۰	گوشه سعد وقاص	۵۳

نتایج پارامترهای آماری مربوط به فرساینده گی باران در جدول ۲ قابل مشاهده است.

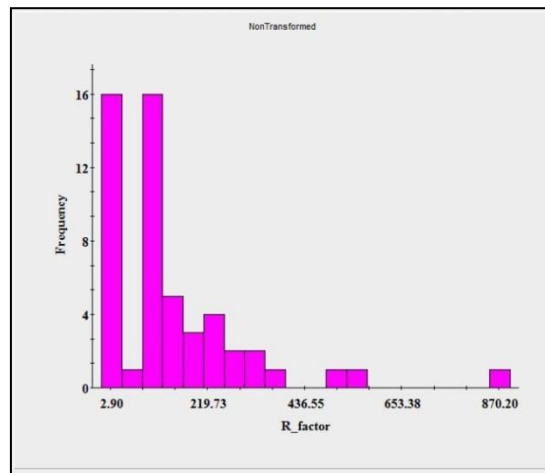
جدول ۲- خصوصیات آماری داده‌ها قبل از تبدیل لوگ نرمال و بعد از تبدیل لوگ نرمال

چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	میانگین	تعداد	توزیع داده
۲/۳۵	۱۰/۰۵	۱۶۰/۹	۱۳۷/۱	۵۳	بدون تبدیل
-۰/۵۶	۱/۸۴	۱/۶	۴/۰۲	۵۳	لوگ نرمال

هیستوگرام فراوانی داده‌ها و مقایسه لوگ نرمال، به منظور نرمال کردن آنها در محیط نرم‌افزار GS⁺5.1.1 انجام شد (شکل‌های ۳ و ۴).

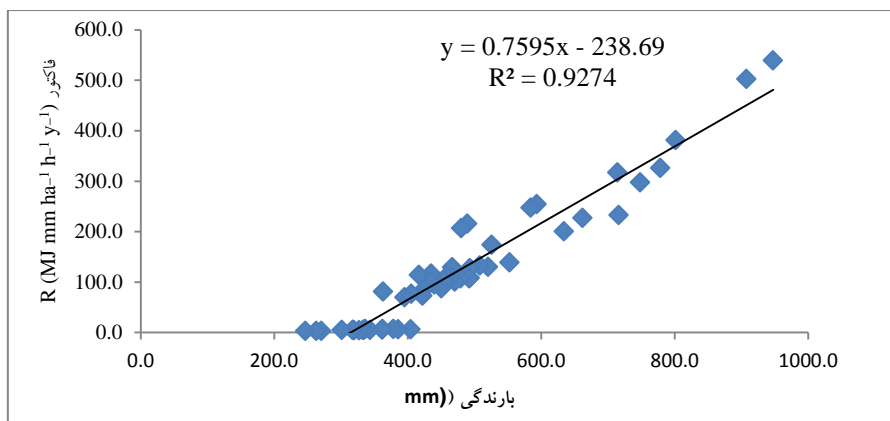


شکل ۴- توزیع داده‌ها پس از تبدیل با لوگ نرمال



شکل ۳- توزیع اولیه داده‌ها

رابطه بین میزان بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه و فرسایندهای باران در شکل ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۵- رابطه بین بارندگی و فرسایندهای باران (R) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

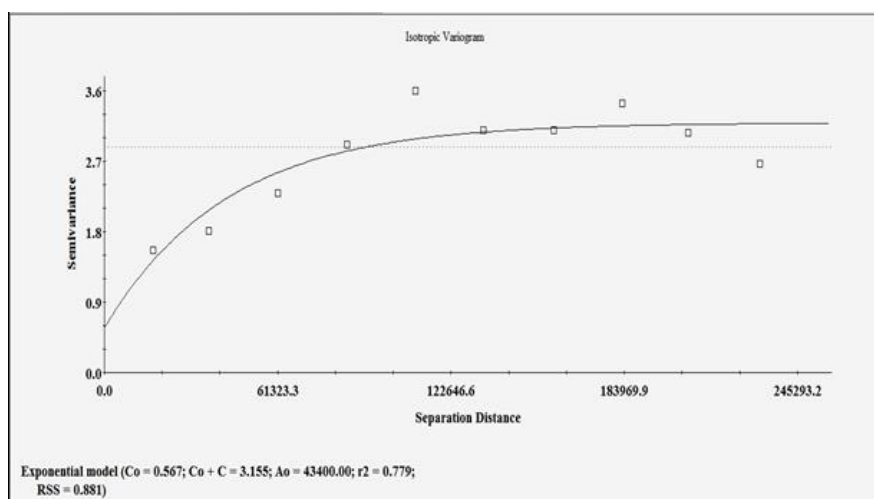
وابستگی مکانی قوی است. اگر نسبت فوق بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، متغیر وابستگی مکانی متوسط دارد و اگر نسبت بیش از ۷۵ درصد شود، نشانگر وابستگی مکانی ضعیف متغیر خواهد بود (Black, 1986; Quine and Zhang, 2002). چنانچه در جدول ۳ نشان داده شده است حداقل این نسبت در مورد شاخص فرسایندهای باران در مدل نمایی دیده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که مدل نمایی از بین مدل‌های برازش داده شده به واریوگرام بهترین مدل برای این شاخص است (شکل ۶).

در این تحقیق برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های فرسایندهای باران از ترسیم واریوگرام استفاده شد. نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام‌های مختلف در جدول ۳ قابل مشاهده است. در ادامه واریوگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را بصورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. برای این امر درجه وابستگی مکانی متغیرها از تقسیم واریانس اترقعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) ضرب در ۱۰۰ به دست آمد. اگر این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای

جدول ۳- پارامترهای تاثیر قطعه‌ای و سقف و رایوگرام به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده

نوع مدل	اثر قطعه‌ای (C ₀)	حد آستانه (C ₀ +C)	نسبت همبستگی* (%)	دامنه تاثیر	ضریب همبستگی (R ₂)	RSS
کروی	۰/۹۷	۳/۱۰	۳۰/۹۶	۱۲۱۳۰۰	۰/۸۴	۰/۶۱
نمایی	۰/۵۶	۳/۱۵	۱۷/۷۷	۴۳۴۰۰	۰/۷۸	۰/۸۷
خطی	۱/۹۷	۳/۳۸	۵۸/۵۷	۲۳۱۹۷۵	۰/۴۴	۹/۴۳
گوسین	۱/۳۳	۳/۱۱	۴۲/۷۶	۶۲۳۰۰	۰/۸۴	۰/۶۳

نسبت همبستگی = اثر قطعه ای / واریانس کل (حدآستانه)



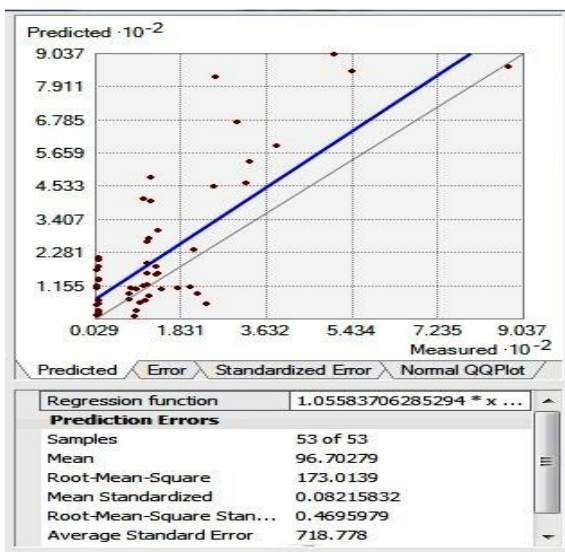
شکل ۶- واریوگرام نمایی برازش داده شده به داده‌ها

روش‌های مورد بررسی آمده است (جدول ۴) روش کریجینگ معمولی با میزان میانگین خطای برآورد پایین‌تر (۰/۰۶) و مربع میانگین ریشه خطا (۰/۴) مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش ارزیابی شد. شکل‌های ۹ تا ۱۰ نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده فرساینده گی باران در روش‌های مورد بررسی را نشان می‌دهند.

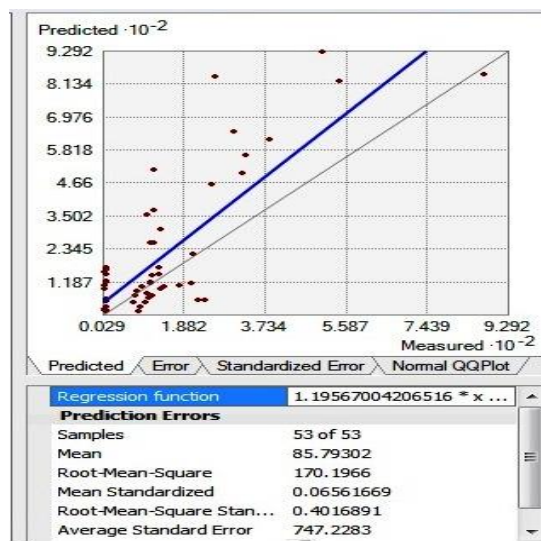
به طور کلی اگر برآورد داده‌ها بدون انحراف باشد، میانگین خطای (ME) برآورد به صفر نزدیک‌تر است و هر چه فاصله بیشتر شود میزان انحراف در درون‌یابی نیز بیشتر می‌شود. همچنین این امر در مورد میانگین استاندارد خطای (MSE) برآورد شده نیز صدق می‌کند. از طرف دیگر نیز پایین‌ترین مربع میانگین ریشه خطا (RMSE) بهترین برآورد را خواهد داشت (شکل‌های ۷ و ۸). همانطور که در نتایج ارزیابی دقت

جدول ۴- نتایج حاصل از صحت‌سنجی برای دو روش کریجینگ مورد بررسی

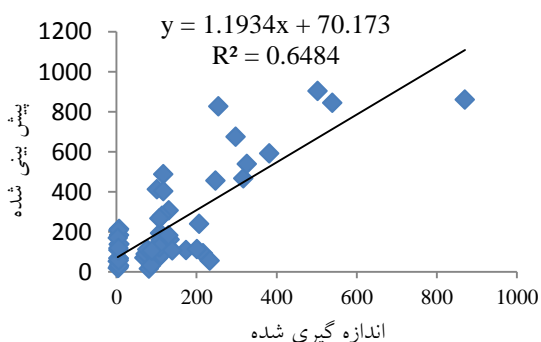
روش	میانگین خطا (ME)	میانگین استاندارد شده خطا (MSE)	ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا (RMSE)
کریجینگ ساده	۹۶/۷	۰/۰۸	۰/۴۶
کریجینگ معمولی	۸۵/۷	۰/۰۶	۰/۴۰



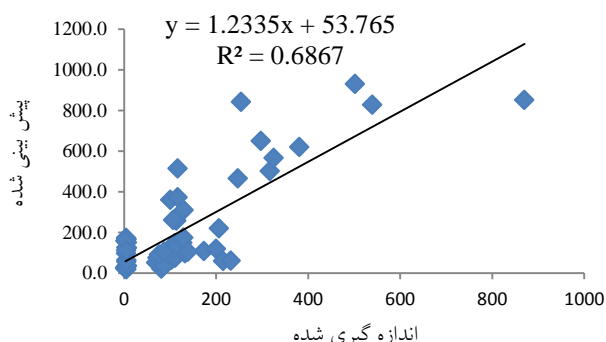
شکل ۸- ارزیابی صحت مقادیر تخمین زده شده و مشاهده شده فرسایندگی باران با روش کریجینگ ساده



شکل ۷- ارزیابی صحت مقادیر تخمین زده شده و مشاهده شده فرسایندگی باران با روش کریجینگ معمولی



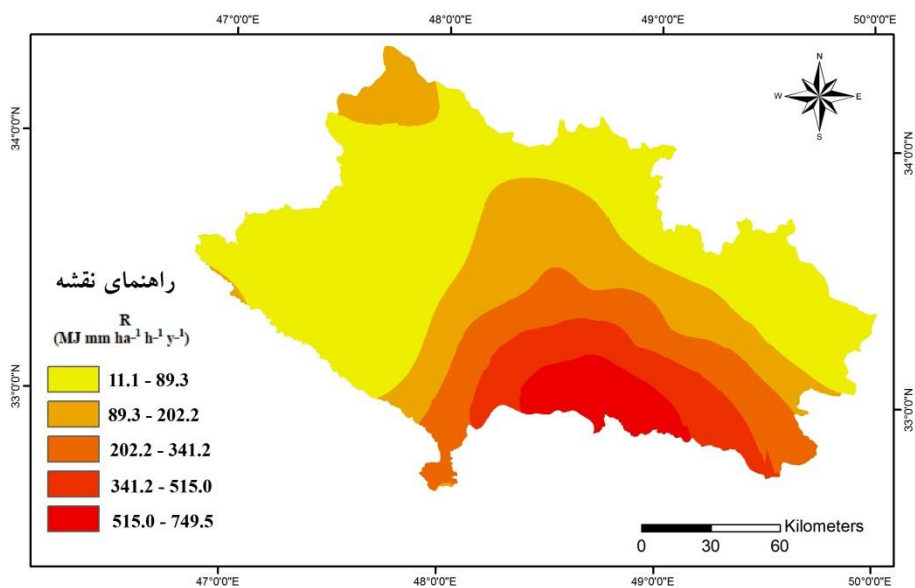
شکل ۱۰- نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای شده فرسایندگی باران با روش کریجینگ ساده



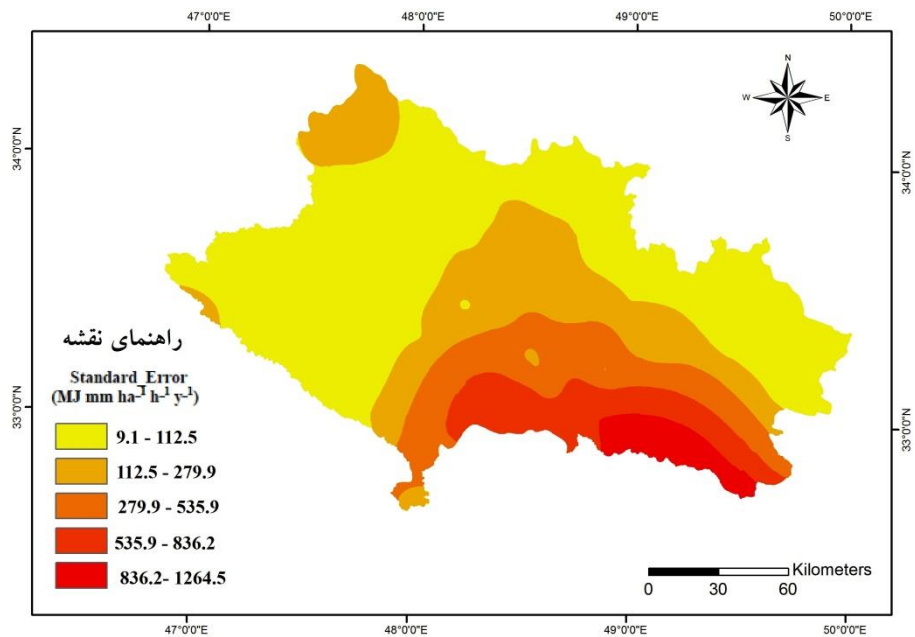
شکل ۹- نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای شده فرسایندگی باران با روش کریجینگ معمولی

منطقه‌ای مدل‌سازی کرد (شکل ۱۲). همانطور که در جدول ۵ مشخص است با استفاده از ابزار Zonal Statistics در محیط ArcGIS10.3، حداکثر، حداقل و متوسط فرسایندگی باران به تفکیک هر شهرستان مشخص شد که میزان متوسط فرسایندگی باران به تفکیک هر شهرستان در شکل ۱۳ قابل نمایش است.

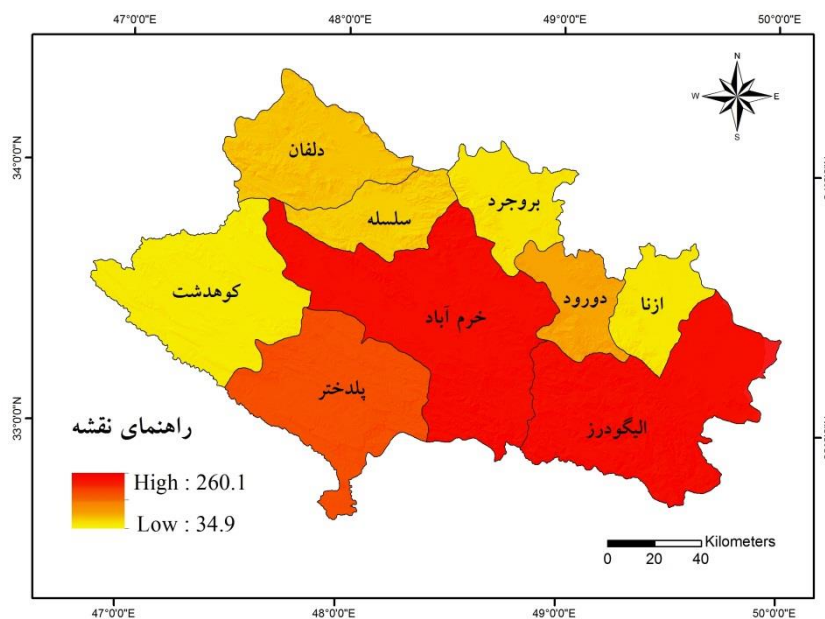
در نهایت نقشه فرسایندگی باران با استفاده از روش زمین-آماري کریجینگ معمولی و واریوگرام نمایی در محیط نرم-افزار ArcGIS10.3 و با استفاده از اکستنشن ژئواستاتستیک ترسیم شد (شکل ۱۱). از ویژگی‌های مهم روش زمین‌آماري کریجینگ محاسبه میزان خطای برآورد است. با استفاده از این ویژگی می‌توان میزان خطای استاندارد شده حاصل از برآورد روش کریجینگ را در سطح



شکل ۱۱- نقشه توزیع فرساینده گی باران با روش کریجینگ معمولی



شکل ۱۲- توزیع خطای استاندارد شده حاصل از روش کریجینگ معمولی



شکل ۱۳- متوسط فرسایندگی باران استان لرستان به تفکیک شهرستان

جدول ۵- فرسایندگی باران استان لرستان به تفکیک شهرستان

شهرستان	مساحت (کیلومتر مربع)	شاخص فرسایندگی باران به تفکیک شهرستان (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ y ⁻¹)		
		متوسط	حداکثر	حداقل
دلفان	۲۷۳۸/۴	۷۸/۰	۱۲۳/۰	۲۹/۰
بروجرد	۱۶۷۵/۹	۵۴/۲	۱۳۰/۳	۱۸/۰
سلسله	۱۵۷۲/۹	۷۱/۰	۱۵۴/۵	۱۴/۳
خرم‌آباد	۶۳۱۵/۷	۲۶۰/۱	۷۴۹/۶	۱۶/۰
کوه‌دشت	۴۰۲۹/۷	۳۴/۹	۱۰۵/۱	۱۱/۶
دورود	۱۳۸۸/۱	۹۸/۰	۲۶۱/۸	۱۸/۴
ازنا	۱۴۰۴/۳	۴۸/۱	۱۴۸/۳	۱۱/۷
الیگودرز	۵۴۰۵/۳	۲۵۲/۵	۷۱۴/۰	۱۱/۱
پلدختر	۳۶۶۳/۴	۱۹۰/۳	۵۵۰/۲	۱۹/۷

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور تهیه نقشه فرسایندگی باران از روش کریجینگ استفاده شد. به همین منظور میزان فرسایندگی باران در ۵۳ ایستگاه هواشناسی در سطح استان با شاخص اصلاح شده فورنیه محاسبه شد. روش کریجینگ فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس است، جایگاه ویژه‌ای در بین روش‌های درون‌یابی بدست آورده است و از دقیق‌ترین مدل‌های درون‌یابی

محسوب می‌شود (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج مقایسه دو روش کریجینگ ساده و معمولی نشان داد که روش کریجینگ معمولی بدلیل بالاتر بودن مقدار R^2 (شکل‌های ۹ و ۱۰) و پایین‌تر بودن مقادیر MSE ، ME ، $RMSE$ نتایج بهتری را در مقایسه با روش کریجینگ ساده نشان داده است (جدول ۴) و از اینرو این مدل می‌تواند به عنوان روش مناسبی جهت تخمین توزیع مکانی فرسایندگی باران در سطح منطقه مورد مطالعه بکار گرفته شود. در

عوامل تاثیرگذار در فرسایش منطقه شامل فرسایش پذیری خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و نحوه استفاده و مدیریت اراضی در منطقه قابل بررسی هستند. همچنین بررسی ارتباط میان فرساینده گی باران با سایر عوامل یاد شده تاثیرگذار بر فرسایش منطقه در مطالعات آتی پیشنهاد می شود. نقشه تولید شده در این پژوهش می تواند بمنظور برآورد میزان هدررفت خاک^۱ با مدل USLE و شناسایی مناطق با پتانسیل فرسایش زیاد مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Ballabio, C., Borrell, P., Spinoni, J., Meusburger, K., Michaelides, S., Beguería, S., Klik, A., Petan, S., Janeček, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Perčec Tadić, M., Diodato, N., Kostalova, J., Rousseva, S., Banasik, K., Alewel, C and Panagos, P, Mapping monthly rainfall erosivity in Europe, Science of the Total Environment, 579: 1298-1315.
2. Black, C. A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1, PP: 545-566. Ser. No. 9., ASA. Madison, WI.
3. Cressie, N.A.C., 1993. Statistics for spatial data. John Willy and Sons, Inc., New York. 900 p.
4. Faridi, P., Rezaei, P., Ghorbani, P and Kazemi, M., Application of GIS in Modeling rainfall erosivity factor (Case Study: Gabric Watershed- Hormozgan province East South), Quarterly journal of Environmental Erosion Research, 3(10): 39-51.
5. Fathizad, H., Karimi, H and Tazeh, M., 2014, Reviews different geostatistical algorithms for mapping annual rainfall in Ilam, Applied Geographical Sciences Research, 14(35): 140-154.
6. Ferro, V., Giordano, G. and Iovino, M., 1991, Isoerosivity and erosion risk map for Sicily, Hydrological sciences journal, 36(6), 549-564.
7. Gharoudi Tali, M., 2005. GIS in a 3D environment, Jahad daneshgahi press, Teacher Training Unit, No 49, 173 pages.
8. Gholami, h., Fathizhad, H., Safari, A and Binisz, M., 2016, Evaluation erosivity factor of rain using Geostatistical algorithms (Case

مطالعه فریدی و همکاران (۱۳۹۲) نیز از بین روش های کریجینگ مورد بررسی، کریجینگ معمولی مناسب ترین روش درونیابی تشخیص داده شد. همچنین در مطالعه شعبانی (۱۳۹۰) جهت تخمین فرساینده گی باران در استان فارس، روش کریجینگ معمولی در مقایسه با سایر روش های درونیابی مورد بررسی و بعنوان روش برتر انتخاب شد گزارش ایشان موید برتری روش های کریجینگ نسبت روش های معین بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که انواع روش های زمین آماری با در نظر گرفتن خود همبستگی مکانی داده ها قابلیت تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را دارند از اینرو می توان نتیجه گیری کرد که روش های زمین آماری با در نظر گرفتن همبستگی مکانی داده ها امکان ترسیم بهتر توزیع مکانی شاخص فرساینده گی باران را فراهم می سازند. همانطور که سایر مطالعات انجام شده در این راستا از جمله غلامی و همکاران (۱۳۹۴) و فریدی و همکاران (۱۳۹۲) بر این موضوع تاکید داشتند. تخمین توزیع مکانی فرساینده گی باران با روش کریجینگ معمولی نشان داد که مناطق واقع در امتداد شمالی - جنوبی و مرکزی استان لرستان دارای فرساینده گی زیاد و مناطق غربی و شرقی دارای فرساینده گی کمتری هستند به عبارت دیگر در قسمت های جنوبی استان میزان فرساینده گی زیاد و با حرکت به طرف شمال استان مقدار آن کاهش می یابد. براساس نتایج شهرستان خرم آباد در مرکز استان لرستان با متوسط فرساینده گی باران ۲۶۰/۱ مگاژول-میلی متر بر هکتار در ساعت در سال و شهرستان کوهدشت در غرب استان با متوسط فرساینده گی باران ۳۴/۹ مگاژول- میلی متر بر هکتار در ساعت در سال بترتیب بیشترین و کمترین میزان متوسط فرساینده گی باران را در بین شهرستان های استان دارند. همانطور که در بخش نتایج قابل مشاهده است مقادیر فرساینده گی باران با تغییرات میزان بارندگی همبستگی معنی دار ($R^2=0/93$) دارد بطوریکه مناطق با بارندگی زیاد و کم بترتیب دارای فرساینده گی زیاد و کم دارند. لذا می توان مقادیر فرساینده گی باران حاصل از داده های بارش را به عنوان برآورد خوبی از پتانسیل فرسایش منطقه بکار گرفت. لازم بذکر است که نقشه فرساینده گی باران تنها نشان دهنده پتانسیل فرسایش ناشی از فرساینده گی باران است و سایر

19. Oliveira, P.T.S., Wendland, E and Nearing, M.A., 2013, Rainfall erosivity in Brazil: a review, *Catena*, 100:139–147.
20. Price, T. D., McKenney, D. W., Nalder, I. A., Hutchinson, M. F., and Kesteven, J. F., 2000, A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data, *Agricultural and Forest Meteorology*, 101: 81–94.
21. Qin, W., Guo, Q., Zuo, C., Shan, Z., Ma, L. and Sun, G., 2016. Spatial distribution and temporal trends of rainfall erosivity in mainland China for 1951–2010. *Catena*, 147,177-186.
22. Quine, T. A. and Zhang, Y., 2002. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within an agricultural field in Devon, U.K. *Soil and Water Conserv.* 57: 50-60
23. Renard, K.G. and Freimund, J.R. 1994, Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE, *Journal of hydrology*, 157(1): 287-306.
24. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Vol. 703). Washington: US Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
25. Sanchez-Moreno, J and Mannaerts, C and Jetten, V, 2014, Rainfall erosivity mapping for Santiago Island, Cape Verde, *Geoderma*, 217-218: 74-82.
26. Shabani, M, 2011, Evaluation of geostatistical methods for rainfall erosivity mapping, Fars province, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 3(3): 168-176.
27. Shabani, A., Shahbakhti, M and Abbaspour, R.A, 2011, Modeling the distribution of atmospheric pollutants in Tehran using statistical and geostatistical methods, *Geomatics conference, National mapping agency*, 10 pages.
28. Saghafian, B., 2012, Manual methods of spatial distribution of climatic factors using data point, Publication No. 585, Deputy Strategic and office engineering and technical standards for water and Alpha Energy Department.
- Study: Ilam province, Iran), *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 4(20): 1-16.
9. Hakim Khani, S., Mahdian, M.H., Aran Khedri, V and Ghorbanpor, d., 2008, Rainfall erosivity mapping, The third national conference on erosion and sediment, Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Center, 281-288.
10. Hassani Pak, A., 2010, *Geostatistics*, Tehran university press, 380 pages.
11. Hutchinson, M. F. 1998, Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines: II analysis of topographic dependence, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2), 168-185.
12. Lal, R., 1990, *Soil Erosion in the Tropics, Principles and Management*, McGraw-Hill, New York, 580 pages.
13. Lashani Zand, M., 2004. A Study on the Climate of Iran's Droughts and its Coping Strategies, Case Study: Six Areas in the West and Northwest of Iran, PhD thesis, Faculty of Literature and Humanities University of Isfahan,
14. Kamarei, R., 2010, Changes in production site, density and percent canopy cover (*Nitraria schoberi* L.) using geostatistical methods in the desert Meighan, Master's thesis Range Management Engineering, Tarbiat Modarres university, 250 pages.
15. Khosravi, Y and Abbasi, A, 2016, Spatial analysis of environmental data with geostatistics, Azar Kelk press, 280 pages.
16. Mirmosavi, S.H., Mazidi, A and Khosravi, Y., 2010, Determine the best methods of statistics to estimate the distribution of rainfall using GIS (Case Study: Isfahan Province), *geographical space*, 10(30): 105-120.
17. Morgan, R. P. C., 1995, *Soil Erosion and Conservation*. Addison- Wesley, London, 198 pages.
18. Naoum, S., and Tsanis, I. K., 2003, Temporal and spatial variation of annual rainfall on the island of Crete, Greece, *Hydrol. Process*, 17: 1899–1922.

- universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. *Ecological Modeling*, 153:143-155.
32. Wichmeier, W.H., and Smith, D. D., 1978, Predicting rainfall losses: a guide to conservation planning, *Agriculture Handbook No. 537*, US Department of Agriculture, Washington, DC.
33. Yu, B. and Rosewell, C.J. 1996, Technical Notes: A Robust Estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation, *Transactions of the ASAE*, 39(2): 559-561.
29. Statistical Yearbook of Lorestan province, 2014, Lorestan Governor, 638 pages.
30. Tazeh, M and Khosravi, Y., 2008. Drought zoning based on the Transeau index using GIS statistics (Case study of the western part of Isfahan province), *International Conference on Tree Botany and Climate Change in Caspian Ecosystems*, Sari Caspian Ecosystem Institute.
31. Wang, G., Gertner, G., Singh, V., Shinkareva, S., Parysow, P and Anderson, A., 2002, Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised