



# پژوهش‌های فرسایش محیطی

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



## برآورد فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از الگوریتم‌های زمین آمار

(مطالعه‌ی موردی: استان ایلام)

حمید غلامی<sup>۱\*</sup>، حسن فتحی‌زاد<sup>۲</sup>، عطا صفری<sup>۳</sup>، مهدی بی‌نیاز<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

<sup>۲</sup> گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کوشناسی، دانشگاه یزد

<sup>۳</sup> گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

### چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت:

۱۳۹۴/۰۷/۱۲

اصلاح:

۱۳۹۴/۱۱/۱۰

پذیرش:

۱۳۹۴/۱۱/۲۰

واژگان کلیدی:

زمین‌آمار

فرساینده‌گی باران

واریوگرام

درون‌یابی

استان ایلام

امروزه فرسایش خاک به‌عنوان یکی از مباحث مهم مدیریت حوزه‌های آبخیز در سطح ملی و جهانی مطرح می‌باشد. برآورد خطر کاهش خاک و توزیع فاصله‌ای آن از عوامل کلیدی برای ارزیابی موفق فرسایش خاک است. هدف از این تحقیق محاسبه و مدلینگ فاکتور فرساینده‌گی باران در استان ایلام با استفاده از داده‌های ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی در طی دوره ۲۳ ساله با روش‌های زمین‌آمار می‌باشد. پس از محاسبه فاکتور فرساینده‌گی باران برای ایستگاه مورد نظر، با استفاده از روش‌های زمین‌آمار 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 ۰/۵ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درون‌یابی استفاده گردید. همچنین، برای بررسی میزان شاخص فرساینده‌گی از روش‌های درون‌یابی روش عکس فاصله (IDW)، چند جمله‌ای جهانی (GPI)، تابع شعاعی (RBF)، درون‌یابی موضعی (LPI) و کریجینگ استفاده شده و جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش چند جمله‌ای جهانی با ریشه میانگین مربعات خطا برابر با ۲۸/۹۳ و میانگین قدر مطلق خطا برابر با ۲۰/۹۵ بهترین روش می‌باشد.

### مقدمه

فرسایش خاک به دلیل افزایش جمعیت دنیا، به عنوان یکی از اصلی‌ترین رفتارهای محیطی به شمار می‌رود و به عنوان یکی از مهم‌ترین نتایج تغییرات کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی می‌باشد (Gitas et al, 2009). مطالعات در زمینه فرسایش خاک از دهه‌های اول قرن ۲۰ آغاز شده و تاکنون از لحاظ کمیّت و تنوع، افزایش زیادی داشته است. از میان عوامل طبیعی موثر بر

\* نویسنده مسئول رایانامه: [hgholami@hormozgan.ac.ir](mailto:hgholami@hormozgan.ac.ir)

فرسایش خاک، فرساینده‌ی باران بیشترین اهمیت را دارد. بارندگی یکی از دلایل اصلی فرسایش خاک است که اهمیت فوق‌العاده‌ای در فرآیند جداسازی ذرات به دلیل تاثیر قطرات و قدرت برشی رواناب دارد. در مقایسه با دیگر عوامل طبیعی موثر بر فرسایش مانند خصوصیات خاک، فرساینده‌ی باران امکان اصلاح توسط بشر را ندارد، بطوریکه آن یک عامل محدود کننده‌ی محیطی است که باعث محدودیت در استفاده و مدیریت سرزمین می‌شود. در مفهوم تغییر اقلیم، تاثیر خصوصیات بارش تغییر یافته بر فرسایش خاک، یکی از دغدغه‌های اصلی مطالعات حفاظت خاک می‌باشد. به خوبی مشخص است که یک واقعه‌ی بارندگی شدید و کوتاه، مسئولیت بیشترین قسمت فرسایش خاک و تحویل رسوب را بر عهده دارد (Arekhi and Kalte, 2009). معادله جهانی فرسایش (USLE)<sup>۱</sup> 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 (Muesburger et al, 2012). شاخص فرساینده‌ی باران در معادله جهانی فرسایش به عنوان یک شاخص کمی از توان باران در فرسایش خاک استفاده می‌شود. این شاخص ترکیبی از مقدار باران به صورت انرژی جنبشی و شدت بارش می‌باشد. فرساینده‌ی باران را می‌توان بوسیله‌ی چندین معیار فرساینده‌ی که روابط بین توزیع اندازه ذره و انرژی جنبشی ناشی از یک واقعه‌ی خاص را ارزیابی می‌کنند، کمی کرد. میزان فرساینده‌ی باران با میزان بارندگی و با ارتفاع رابطه مستقیم دارد. به همین دلیل در گذشته سعی می‌شد که با استفاده از برقراری یک رابطه رگرسیون میان ارتفاع و بارندگی، نقشه بارندگی منطقه تهیه و با استفاده از یک رابطه رگرسیون دیگر برای بارندگی و میزان فاکتور فرساینده‌ی باران، نقشه فرساینده‌ی تهیه می‌شود (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۹).

تهیه نقشه‌ی فرساینده‌ی در مقیاس محلی و حوضه‌ای هنوز هم بعنوان سوال تحقیقاتی استفاده می‌شود. چنین نقشه‌هایی امکان بررسی جامع‌تر در مکان‌های وسیع را فراهم می‌آورد. با ورود GIS و عمومیت روش‌های میان‌یابی مکانی، نقشه‌های پارامترهای محیطی مانند آنهایی که به فرسایش خاک مربوط می‌شوند، رایج شده‌اند. به عنوان مثال، چندین محقق از روش‌های GIS جهت تهیه نقشه‌ی فاکتورهای معادله RUSLE با روش‌های میان‌یابی استفاده کردند (Gonzalez-Hidalgo et al, 2007, 2008 & Muesburger et al, 2012).

محققان بسیاری به مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی پرداخته‌اند که نشان‌دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش می‌باشد. نالدِر و وین<sup>۲</sup> (۱۹۹۸)، روش عکس مجذور فاصله مناسب‌تر از سایر روش‌ها تشخیص دادند. هارگرو<sup>۳</sup> (۲۰۰۱)، از روش اسپیلاین با کشش و اسپیلاین با سطح صاف برای برآورد بارندگی در سوئیس استفاده نمودند. کاستیلیک و کاسملج<sup>۴</sup> (۲۰۰۲)، آمار بارندگی سالانه کشور اسلونی را با مدل کروی روش کریجینگ معمولی مورد مطالعه قرار داده و بیان کردند که این داده‌ها تا شعاع ۴۰ کیلومتری بر روی هم تاثیر می‌گذارند. 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 ایستگاه‌ها به علت کوهستانی بودن قسمت غرب اعلام نمودند. گوآرتز<sup>۵</sup> (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 پرتغال، روش کریجینگ ساده را در مقایسه با دیگر روش‌های یاد شده مناسب‌تر دانست (Gonzalez-Hidalgo et al, 2007). در محاسبه شاخص فرساینده‌ی باران با استفاده از زمین‌آمار در استان هبی (HEBI) چین، روش کریجینگ معمولی در جه دوم نسب به روش کریجینگ معمولی درجه صفر و درجه یک عملکرد بهتری داشته و همچنین واریوگرام برازش داده گو سین عملکرد بهتری از

<sup>1</sup> Universal Soil Loss Equation

<sup>2</sup> Nalder & Wein

<sup>3</sup> Hargrove

<sup>4</sup> Kastelec & Kosmelj

<sup>5</sup> Goovartes

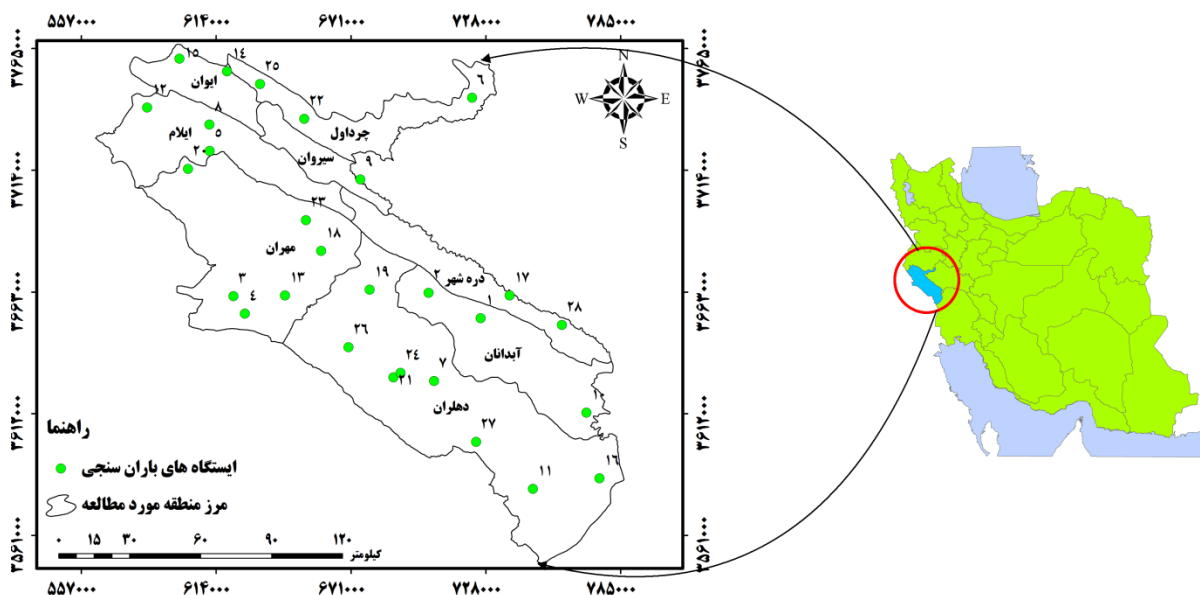
واریوگرام کروی و نمایی داشته است (Muesburger et al, 2012). آنوری<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، به منظور برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز سیسیل در شمال ایتالیا با استفاده از مدل اصلاح شده جهانی فرسایش خاک، میزان فاکتور فرساینده باران این مدل با استفاده از روش کریجینگ درون‌یابی نمودند.

هدف این تحقیق، مقایسه‌ی روش‌های مختلف میان‌یابی در تهیه‌ی نقشه‌ی فاکتور فرساینده باران در وقایع فرساینده و فاکتور R مدل RUSLE با استفاده از داده‌های ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی در حوضه آبخیز استان ایلام می‌باشد. نتایج نقشه‌نگاری فرساینده باران می‌تواند بعنوان مرجع عملیات‌های حفاظت خاک و بحث در مورد روش‌های مختلف میان‌یابی در نقشه‌نگاری‌های حوزه‌ای و محلی منجر گردد.

## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، استان ایلام با مساحت ۱۹۹۱۹ کیلومتر مربع می‌باشد. این استان در غرب و جنوب غربی کشور و در بین ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. نقاط ارتفاعی منطقه حداکثر ۲۷۵۴ و حداقل ۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد. استان ایلام از جنوب با استان خوزستان، از شرق با استان لرستان و از شمال با استان کرمانشاه و از سمت غرب با ۴۲۵ کیلومتر مرز مشترک با کشور عراق هم‌جوار است. ناهمواری‌های استان ایلام، از چین‌خوردگی‌های موازی در جهت شمال غربی و جنوب شرقی به وجود آمده‌اند. کوه‌های استان ایلام عمدتاً به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی مربوط است. نواحی شمالی و شمال‌شرقی استان ایلام کوهستانی و نواحی غرب و جنوب غربی آن از اراضی پست و کم‌ارتفاع تشکیل شده است. کبیرکوه و دینارکوه مهم‌ترین ارتفاعات استان می‌باشد. حداقل، حداکثر و میانگین بارندگی استان ایلام به ترتیب برابر با ۱۷۹/۷، ۸۲۳/۳ و ۵۰۲/۵ میلی‌متر و میانگین دمای آن برابر با ۱۶/۷ سانتی‌گراد می‌باشد. در این تحقیق از ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی استفاده شده است (شکل ۱).



## روش

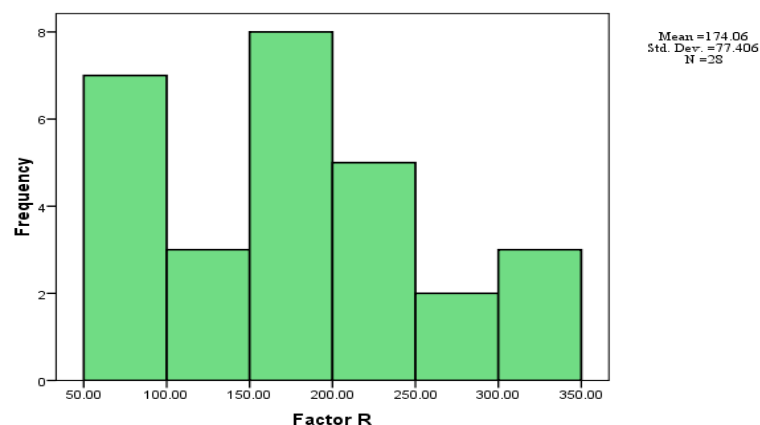
<sup>۱</sup> Onori

## آزمون آماری

در این تحقیق به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش کلموگراف - اسمیرنف<sup>۱</sup> 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 داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات آماری داده‌های منطقه مورد مطالعه.

| پارامتر               | تعداد داده‌ها | میانگین | حداکثر | حداقل | انحراف از معیار |
|-----------------------|---------------|---------|--------|-------|-----------------|
| شدت فرسایشی باران (R) | ۲۸            | ۱۷۴/۰۶  | ۳۲۲/۲۹ | ۵۶/۵۵ | ۷۷/۴            |



شکل ۲. توزیع هیستوگرام شدت فرسایشی باران.

## فاکتور فرسایشی باران (R)

برای محاسبه فاکتور R، 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. در مرحله بعد با استفاده از معادله ذیل، شاخص فورنیه<sup>۲</sup> و فاکتور R برای تمام ایستگاه‌ها بدست آمد. رابطه شاخص فورنیه (F) بصورت ذیل است (Nalder and Wein, 1998):

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

در این معادله،  $p_i$  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 رنارد و فریموند<sup>۳</sup> (۱۹۹۴) برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده، مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های شاخص برآورد گردید.

اگر:  $F < 55 \text{ mm}$

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

<sup>1</sup> Kolmogorov-Smirnov

<sup>2</sup> Fournier Index

<sup>3</sup> Renard & Freimund

اگر:  $F \geq 55 \text{ mm}$

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

### آنالیز زمین آماری

به طور کلی آنالیز زمین آماری به بررسی پدیده های متغیر در زمان و مکان و آنالیز نقاط نمونه برداری شده با موقعیت های متفاوت به منظور تولید یک سطح پیوسته می پردازد. فرض اساسی این آنالیز، شباهت اشیاء نزدیک به هم می باشد. لازم به ذکر است، امکان دستیابی به نتایج صحیح و کارا از طریق این نوع آنالیزها، زمانی حاصل می گردد که داده ها دارای توزیع نرمال بوده و حتی المقدور ثابت بوده و میانگین و واریانس آنها در فضا متغیر نباشد (Bohling, 2005).

### واریوگرام

برای تعیین میزان همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه برداری شده و استخراج پارامترهای لازم در مراحل درونیابی از واریوگرام استفاده می شود. واریوگرام اولین قدم برای مدل سازی ساختار مکانی به منظور استفاده در کریجینگ است. واریوگرام از طریق رابطه زیر محاسبه می شود (Webster and Oliver, 2000):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (4)$$

که در آن:

$\gamma(h)$ : مقدار نیم تغییرنا 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 این تحقیق به منظور بررسی میزان شاخص فرساینده گی از روش های درونیابی روش عکس فاصله<sup>1</sup> (IDW)، درونیاب چند جمله ای جهانی<sup>2</sup> (GPI)، تابع شعاعی<sup>3</sup> (RBF)، درونیاب موضعی<sup>4</sup> (LPI) و کریجینگ<sup>5</sup> استفاده شد.

### - روش عکس فاصله (IDW)

روش معکوس فاصله یکی از روش هایی است که در مطالعات جغرافیایی از آن زیاد استفاده می شود. فرض اساسی این روش بر آن است که با افزایش فاصله میزان تأثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می یابد. در این روش به نقاط نزدیک به محل تخمین، وزن دهی بیشتر و به نقاط دورتر، وزن کمتر اختصاص می یابد (Muesburger et al, 2012). بیان آماری چنین رویکرد وزن دهی، عبارت است از:

<sup>1</sup> Inverse distance weights

<sup>2</sup> Global polynomial interpolation

<sup>3</sup> Radial basis function

<sup>4</sup> Local polynomial interpolation

<sup>5</sup> Kriging

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^N z_i d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}} \quad (5)$$

که در آن:

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

$Z_o$ : مقدار تخمین متغیر  $Z$  در نقطه  $i$ .

$Z_i$ : مقدار نمونه در نقطه  $i$ .

$d_i$ : فاصله نمونه تا نقطه مورد تخمین.

$n$ : ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌کند.

### روش چند جمله‌ای جهانی (GPI)

روش چند جمله‌ای، یک مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس تمامی داده‌ها ایجاد و یک سطح تفهیمی ایجاد می‌کند. این روش مدلی را بر نقاط نمونه برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند ضلعی با توان ۱، ۲ و ۴ باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوح با تغییرات ملایم و تدریجی است. سطح چند جمله‌ای به تدریج تغییر می‌کند و بخش اعظمی از داده‌ها را دربر می‌گیرد (Jhonston et al, 2001).

### روش تابع شعاعی (RBF)

روش تابع پایه شعاعی از جمله روش‌های درونیابی می‌باشد که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. از دیگر خصوصیات این روش این است که مقادیر بیش از ماکزیمم مقادیر مشاهده‌ای و یا کمتر از مینیمم مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد (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 در این روش، با به دست آوردن تابع درجه اول، دوم یا سوم بین مقادیر متغیر در نقاط همسایگی، میان‌یابی انجام می‌پذیرد (Ruppert, 1997).

### روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت بهترین تخمین گر خطی نااریب به شمار می‌رود. از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازاء هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می‌کند. معادله کلی کریجینگ برای برآورد مقادیر یک متغیر به صورت زیر، بیان می‌شود.

$$z^* = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad (6)$$

که در آن:

$Z^*$ : میزان داده برآورد شده.

در این رابطه  $\lambda_i$  مجموعه‌ای از وزن‌هاست، که به نحوی انتخاب می‌شوند تا  $Z_{xi}^*$  برآورد ناریب با حداقل خطا  $Z^*$  باشد (۶).

### معیارهای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل

معیارهای ارزیابی استفاده شده در این مطالعه بر اساس پارامترهایی از قبیل  $MAE^1$  و  $RMSE$  تعریف می‌شوند. روش‌های محاسبه عوامل  $MAE$  و  $RMSE$  در زیر دیده می‌شود.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | Z^*(x_i) - z(x_i) | \quad (۷)$$

که در آن:

$Z^*$ : میزان داده برآورد شده.

$Z$ : مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر.

$n$ : تعداد داده‌ها.

$MAE$ : میانگین قدر مطلق خطا.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2}{n}} \quad (۸)$$

که در آن:

$Z(x_i)$ : مقدار مشاهده شده متغیر  $X$  در نقطه  $i$ .

$Z^*(x_i)$ : مقدار برآورد شده متغیر  $X$  در نقطه  $i$ .

$n$ : تعداد داده‌ها.

$RMSE$ : مربع میانگین ریشه خطاء برآورد.

### یافته‌ها (نتایج)

نتایج مربوط به فاکتور فرساینده گی باران برای ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. مقدار شاخص فرساینده گی، بارش و ارتفاع در ایستگاه‌های شاهد (ایستگاه باران‌سنجی)

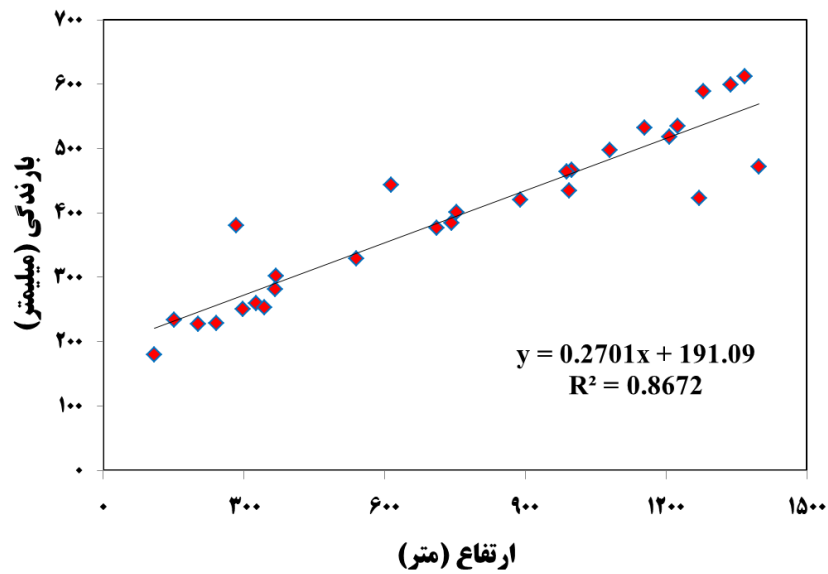
| نام ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع (متر) | P (میلیمتر) | R ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} h^{-1} y^{-1}$ ) |
|-------------|---------------|---------------|--------------|-------------|---|
| ۱           | ۷۲۵۸۲۵        | ۳۶۵۲۰۳۳       | ۱۲۸۰         | ۵۸۸/۶       | ۳۰۲/۹                                       |
| ۲           | ۷۰۳۷۸۶        | ۳۶۶۲۶۴۵       | ۱۱۵۵         | ۵۳۱/۹       | ۲۵۹   |
| ۳           | ۶۲۱۳۳۰        | ۳۶۶۱۲۷۶       | ۱۳۶۹         | ۶۱۲/۴۱      | ۳۲۲/۲۹                                      |
| ۴           | ۶۲۶۰۹۲        | ۳۶۵۳۹۴۴       | ۲۹۸          | ۲۵۰/۵۶      | ۸۷/۵۹                                       |

<sup>1</sup> Mean Absolute Error

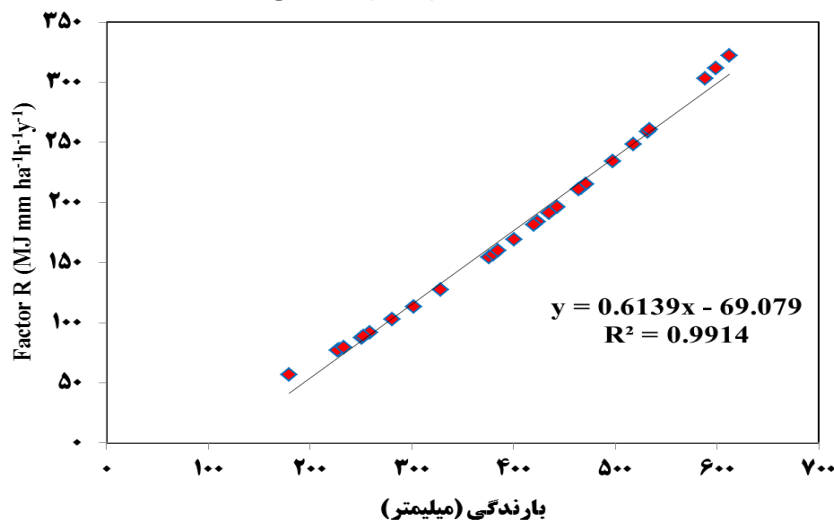
|        |        |      |         |        |    |
|--------|--------|------|---------|--------|----|
| ۱۵۴/۶۷ | ۳۷۶/۲۵ | ۷۱۲  | ۳۷۲۲۱۲۷ | ۶۱۱۲۹۴ | ۵  |
| ۱۸۳/۸۳ | ۴۲۳/۴۴ | ۱۲۷۱ | ۳۷۴۴۴۱۸ | ۷۲۲۱۳۴ | ۶  |
| ۷۷/۷۲  | ۲۹۹/۲۰ | ۲۴۱  | ۳۶۲۵۷۱۳ | ۷۰۶۱۱۳ | ۷  |
| ۲۱۲/۴۱ | ۴۶۶/۶۳ | ۹۹۹  | ۳۷۳۳۲۳۵ | ۶۱۱۱۶۵ | ۸  |
| ۱۶۹/۴۲ | ۴۰۰/۵۶ | ۷۵۴  | ۳۷۱۰۱۵۴ | ۶۷۴۹۱۲ | ۹  |
| ۱۵۷/۱۴ | ۳۸۰/۳۸ | ۲۸۳  | ۳۶۱۲۴۶۳ | ۷۷۰۵۵۵ | ۱۰ |
| ۵۶/۵۵  | ۱۷۹/۶۸ | ۱۰۹  | ۳۵۸۰۴۳۱ | ۷۴۷۸۶۵ | ۱۱ |
| ۱۵۹/۷۱ | ۳۸۴/۶۶ | ۷۴۳  | ۳۷۴۰۳۵۴ | ۵۸۴۸۵۱ | ۱۲ |
| ۹۱/۶۰  | ۲۵۸/۹۶ | ۳۲۶  | ۳۶۶۱۵۷۰ | ۶۴۳۱۰۹ | ۱۳ |
| ۳۱۱/۴۷ | ۵۹۹/۱۸ | ۱۳۳۸ | ۳۷۵۵۵۰۵ | ۶۱۸۶۰۹ | ۱۴ |
| ۲۴۵/۴۵ | ۵۱۷/۵۶ | ۱۲۰۸ | ۳۷۶۰۸۲۰ | ۵۹۸۵۲۵ | ۱۵ |
| ۷۶/۸۲  | ۲۷۷/۲۱ | ۲۰۳  | ۳۵۸۴۸۶۳ | ۷۷۶۰۱۲ | ۱۶ |
| ۱۹۶/۴۸ | ۴۴۲/۹۰ | ۶۱۴  | ۳۶۶۱۵۶۹ | ۷۳۸۰۶۲ | ۱۷ |
| ۲۳۴/۲۷ | ۴۹۷/۹۴ | ۱۰۸۱ | ۳۶۸۰۲۹۰ | ۶۵۸۳۶۶ | ۱۸ |
| ۱۸۱/۵۰ | ۴۱۹/۷۹ | ۸۹۰  | ۳۶۶۴۰۰۷ | ۶۷۸۸۵۶ | ۱۹ |
| ۱۲۷/۳۴ | ۳۲۸/۴۳ | ۵۴۰  | ۳۷۱۴۶۵۲ | ۶۰۲۰۹۷ | ۲۰ |
| ۸۸/۷۹  | ۲۵۳/۰۹ | ۳۴۴  | ۳۶۲۷۲۱۹ | ۶۸۸۸۹۸ | ۲۱ |
| ۱۹۱/۱۸ | ۴۳۴/۸۱ | ۹۹۴  | ۳۷۳۵۶۳۵ | ۶۵۱۲۸۲ | ۲۲ |
| ۲۱۵/۵۲ | ۴۷۱/۱۷ | ۱۳۹۹ | ۳۶۹۳۱۲۸ | ۶۵۱۹۵۲ | ۲۳ |
| ۱۱۳/۲۶ | ۳۰۲/۱۴ | ۳۶۸  | ۳۶۲۹۱۲۷ | ۶۹۱۹۸۵ | ۲۴ |
| ۲۶۰/۸۰ | ۵۳۴    | ۱۲۲۵ | ۳۷۵۰۱۴۴ | ۶۳۲۵۵۰ | ۲۵ |
| ۱۰۲/۵۶ | ۲۸۱/۲۷ | ۳۶۷  | ۳۶۳۹۸۱۶ | ۶۶۹۹۳۹ | ۲۶ |
| ۷۹/۵۱  | ۲۳۳/۱۵ | ۱۵۱  | ۳۶۰۰۲۱۰ | ۷۲۳۸۷۴ | ۲۸ |
| ۲۱۰/۹۴ | ۴۶۴/۴۸ | ۹۸۸  | ۳۶۴۹۱۸۳ | ۷۶۰۱۹۵ | ۲۸ |

در اشکال ۳ و ۴ رابطه بین ارتفاع- بارندگی و ارتفاع- شدت فرسایش باران (R) ارائه شده است.





شکل ۳. رابطه بین ارتفاع و بارندگی

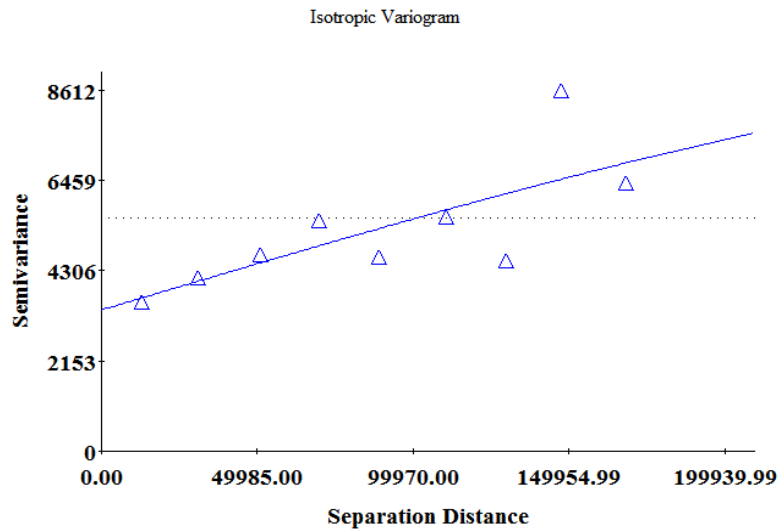


شکل ۴. رابطه بین بارندگی و فاکتور R

نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام خطی با میزان ۰/۵ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درونیابی استفاده گردید و در شکل ۵ نشان داده شده است. بعد از واریوگرام خطی، واریوگرام‌های کروی، گوسین و نمایی به ترتیب با میزان ۰/۶۳، ۰/۷۰ و ۰/۷۴ قرار دارند.

جدول ۳. عوامل مؤثر در مدل ساختار فضایی

| نوع مدل | Co: اثر قطعه (mm <sup>2</sup> ) | Co+C: اثر آستانه (mm <sup>2</sup> ) | C /Co+C |
|---------|---------------------------------|-------------------------------------|---------|
| خطی     | ۳۴۲۶                            | ۶۹۳۳                                | ۰/۵۰۶   |
| نمایی   | ۳۳۱۰                            | ۱۷۳۰                                | ۰/۷۴    |
| گوسین   | ۴۰۵۰                            | ۱۳۱۹۳                               | ۰/۷۰۷   |
| کروی    | ۳۳۷۰                            | ۹۳۲۲                                | ۰/۶۳۸   |



Spherical model ( $C_0 = 3370.0000$ ;  $C_0 + C = 9322.0000$ ;  $A_0 = 403700.00$ ;  $r_2 = 0.547$ ;  
 $RSS = 8.182E+06$ )

شکل ۵: واریوگرام برازش داده شده به داده‌های شاخص فرسایش

نتایج حاصل از ارزیابی مدل در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس MAE و RMSE کمترین خطا به روش چندجمله‌ای جهانی (GPI) تعلق دارد. بر اساس MAE در مورد روش‌های دیگر به صورت زیر است.

>IDW> LPI>RBF  
 کریجینگ

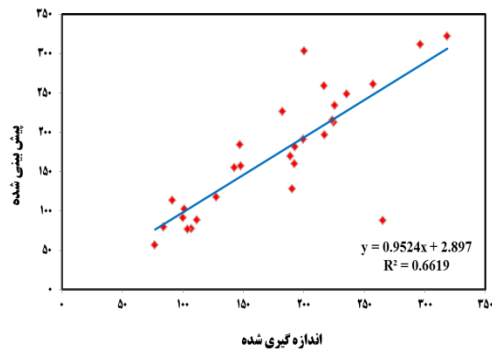
و بر اساس RMSE در مورد روش‌های دیگر به صورت زیر است.

IDW> کریجینگ > LPI>RBF

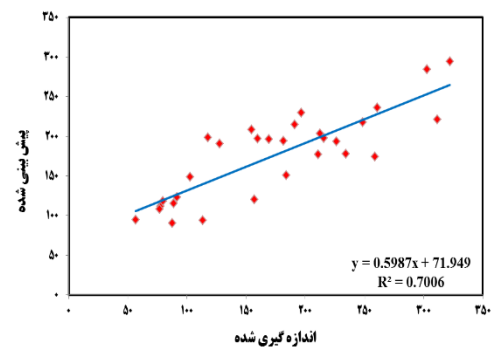
جدول ۴. میزان MAE و RMSE شاخص فرسایش بر اساس روش‌های مختلف آماری

| شاخص سنجش کارایی مدل |       | روش مدل سازی            |
|----------------------|-------|-------------------------|
| RMSE                 | MAE   |                         |
| ۳۱/۳۷                | ۲۵/۸۹ | کریجینگ                 |
| ۴۰/۶۵                | ۳۱/۳  | موضعی (LPI)             |
| ۲۸/۹۳                | ۲۰/۹۵ | چند جمله ای جهانی (GPI) |
| ۴۷/۸۶                | ۳۶/۶۴ | تابع شعاعی (RBF)        |
| ۳۰/۲۸                | ۲۷/۱  | عکس فاصله (IDW)         |

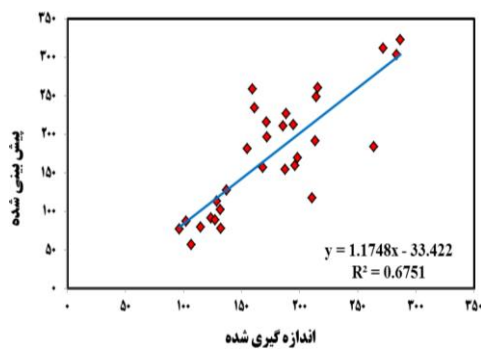
برای مقایسه بهتر، نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای هر روش نیز استخراج گردید (شکل ۶)، مشاهده می‌شود که کلیه روش‌ها به هم شبیه بوده و همبستگی تقریباً نزدیکی دارند.



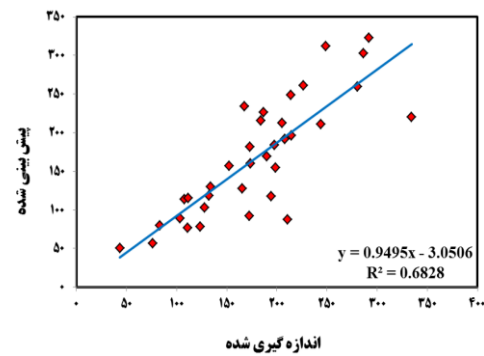
ب: RBF



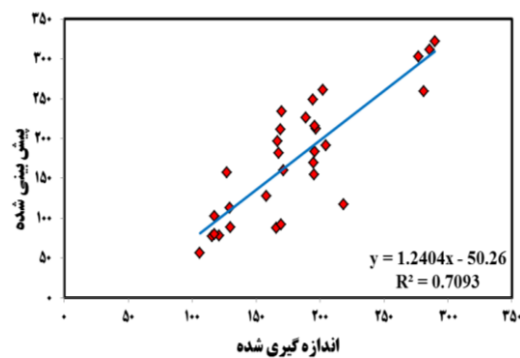
الف: روش IDW



د: LPI



ج: روش GPI

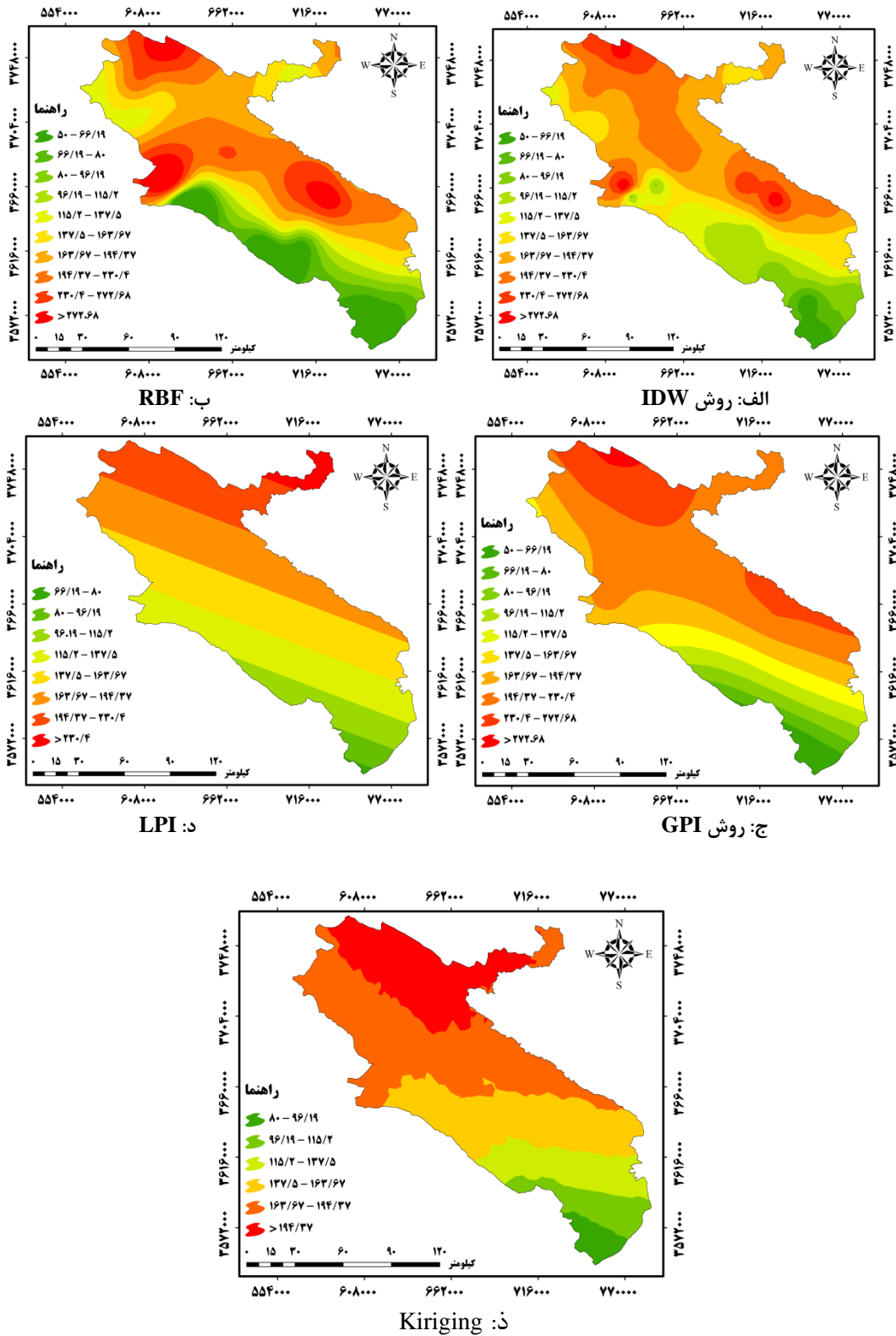


ذ: Kiriging

شکل ۶. نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای روش‌های مختلف آماری (MJ mm ha-1h-1y-1)

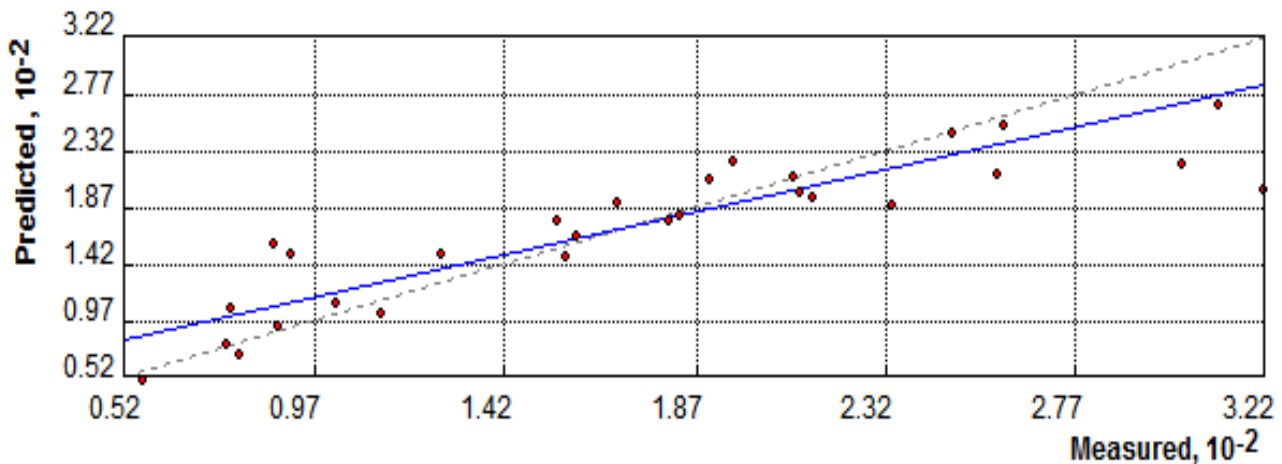
الف: IDW ب: RBF ج: GPI د: LPI ذ: Kiriging

شکل ۷ نقشه پهنه‌بندی شاخص فرساینده انواع روش‌های درونیابی و شکل ۸ نمودار مربوط به همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده روش چندجمله‌ای جهانی (GPI) که بالاترین دقت را نسبت به سایر روش‌های آماری دارد نشان می‌دهند. باتوجه به تعداد بالای ایستگاه‌های موجود در منطقه و نحوه توزیع مناسب آنها، شاهد نقشه پهنه‌بندی کاملی از منطقه هستیم.



شکل ۷. نقشه شاخص فرسایندهی استان ایلام با استفاده از انواع روش‌های مختلف آماری (MJ mm ha-1h-1y-1)

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



Regression function:  $0.753 * x + 41.564$

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

### بحث و نتیجه گیری

فرساینده گی باران یک شاخص جهت نشان دادن تاثیرات بارش می باشد که به انرژی باران (توزیع اندازه ی قطرات باران و انرژی جنبشی) و شدت واقعه ی طوفان بستگی دارد. بارندگی در اقلیم مدیترانه ای با تغییرات موقتی زیاد و سریع همراه است. که این خصوصیت دومی تأثیر ویژه ای بر فرساینده گی باران دارد، زیرا باعث رخدادهای بارشی سریع و شدید می شود (Gonzalez-Hidalgo et al, 2007).

فرض بر این است که فاکتور فرساینده گی باران بعنوان یک شاخص منتج شده از داده های بارش می تواند برآورد خوبی از فرسایش باشد. فرساینده گی باران بستگی به میزان، نوع و شدت بارش دارد که در نتیجه فاکتور فرساینده گی باران بعنوان شاخص مناسبی جهت برآورد این پدیده باشد (Angulo-Martinez et al, 2009, Gonzalez-Hidalgo et al, 2007). بنابراین در این پژوهش مقادیر شاخص R بعنوان یک فاکتور جهت برآورد فرساینده گی باران در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید (جدول ۲). رابطه بارش با فاکتور R می تواند صحت خوبی برای در نظر گرفتن این فاکتور بعنوان فاکتور فرساینده گی باران باشد که مقدار  $R^2$  آن برابر ۰/۹۹ (شکل ۴) است. همچنین رابطه بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر برآورد شده شاخص فرساینده گی  $(R^2=0.753)$  جهت اعتبار سنجی داده ها بدست آورده شد (شکل ۱۰). میزبرگر<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) جهت اعتبار سنجی سری داده ها از رابطه داده های محاسبه شده و داده های پیش بینی شده با مقدار  $R^2=0.69$  استفاده کردند. همچنین فرض ما این است که از روش های زمین آمار می توان برای برآورد این شاخص در تمام مناطق مختلف استفاده نمود و یکی از این روش ها را می توان به عنوان روش برتر با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه معرفی نمود. نتایج نشان داد که انواع روش های زمین آماری با در نظر گرفتن خود همبستگی مکانی داده ها قابلیت تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارند. واریوگرام های مورد استفاده در این تحقیق به خوبی نشان دادند که ترسیم آنها علاوه بر اثبات همبستگی مکانی بین داده های فرساینده گی باران، قابلیت مدل تغییرات همبستگی مکانی در جهت های مختلف را نیز دارند. همچنین نتایج نشان داد که روش چندجمله ای جهانی (GPI) با MAE و RMSE به ترتیب ۲۰/۹۵ و ۲۸/۹۳ کمترین خطا را داشت که به عنوان بهترین روش برای پهنه بندی فاکتور فرساینده گی باران در استان ایلام معرفی گردید. این در حالی است که روش کریجینگ از بین روش های زمین آمار بعنوان مناسبترین روش برای کشور سوئیس معرفی کرد (Meusberger et al, 2012).

<sup>1</sup> Meusburger

شکل (۹ ج) توزیع فاکتور فرساینده‌گی باران به روش چندجمله‌ای جهانی نشان می‌دهد که در قسمت‌های جنوبی استان ایلام مقدار فرساینده‌گی باران کم و هرچه به طرف شمال پیش می‌رویم مقدار آن افزایش می‌یابد. پس می‌توان نتیجه گرفت که میزان فرساینده‌گی باران با فاکتورهای ارتفاع و بارندگی رابطه مستقیم دارد. البته در نظر گرفتن سایر پارامترهای تأثیرگذار از جمله جهت، شیب و سایر پارامترهای دیگر در بالا بردن دقت برآورد فاکتور فرساینده‌گی باران از طریق درونیابی موثر است. فاکتور ارتفاع رابطه معنی‌داری با فاکتور R دارد که از آن می‌توان جهت اعتبارسنجی داده‌ها استفاده کرد (Muesburger et al, 2012). از جمله موارد دیگر جهت بهبود درونیابی‌های انجام شده، مقایسه تعداد بیشتری از مدل‌های واریوگرام‌های تجربی و انتخاب واریوگرامی که بهترین همبستگی را نشان دهد، می‌باشد که در این تحقیق از چهار مدل واریوگرام مختلف استفاده شده است. همچنین با افزایش تعداد ایستگاه‌های بارندگی می‌توان دقت درونیابی را افزایش داد.

### فهرست منابع

۱. شعبانی، ا.، متین فر، ح. ر.، آرخی، ص.، رحیمی هرآبادی، س. ۱۳۹۰. مدلینگ فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از روش زمین آمار (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد ایلام). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی. سال دوم. شماره ۲. صفحه ۶۷-۵۵.
۲. میر موسوی، ح.، مزیدی، ا.، خسروی، ی.، ۱۳۸۹. تعیین بهترین روش زمین آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان اصفهان)، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. سال دهم، شماره ۳۰، صفحات ۱۲۰-۱۰۵.
3. Angulo-Martínez, M., López-Vicente, S.M., Vicente-Serrano, S., Beguería, S., 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain), 3, 1907–1920, 2009, Hydrology and Earth System Science.
4. Arekhi, S., Y. Niazi and Kalteh. A. M., 2010. Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS techniques: a case study, Iran. Arabian Journal of Geosciences. [http://waesearch.kobv.de/uid.do?query=rss\\_feeds\\_667456](http://waesearch.kobv.de/uid.do?query=rss_feeds_667456).
5. Bohling, G., 2005. Introduction to GeoStatistics and Variogram Analysis, Assistant Scientist Kansas Geological Survey Ferro, V., Giordano, G., and Lovino, M. 1991. In erosivity and erosion risk map for Sicily. Hydrol Sci J 36 (6): 549–564.
6. Gitas, L. Z., k. Douros, C. Minakou, G. N. Silleos and Karydas. C. G., 2009. Multi-temporal soil erosion risk assessment In N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. EARSesl eProceedings 8.
7. Gobin, A., Jones, R., Kirkby, M., Campling, P., Govers, G., Kosmas, C., and Gentile, A. R., 2004. Indicators for pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water, Environ. Sci. Policy, 7, 25–38.
8. González-Hidalgo, J. C., Peña-Monñe, J. L., and de Luis, M. A., 2007. Review of daily soil erosion in western Mediterranean areas, Catena 71: 193–199.
9. Gonzalez-Hidalgo, J. C., Pena-Monne, J. L., and de Luis, M., 2007. A review of daily soil erosion in western Mediterranean areas, Catena, 71, 193–199.
10. Goovaerts, P., 2000. Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation Rainfall. Journal of Hydrology. Amsterdam 228 (1-2):133-129.
11. Hargrove, W.W., 2001. Interpolation of Rainfall in Switzerland Using Regularized Splines with Tension, Geographic Information and Spatial Technologies Group Oak Ridge National Laboratory, <http://www.geobabble.org/~hnw/sic97>.
12. 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.

13. Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and Lucas, N., 2001. Using ArcGIS GeostatisticalAnalyst. Esri Redlands. USA.
14. Kastelec, D., and Kosmelj. K., 2002. Spatial interpolation of mean yearly precipitation using universal kriging. *Developments in statistics* 17: 149-162.
15. L'opez-Vicente, M., Navas, A., and Mach'in, J., 2008. Identifying erosive periods by using RUSLE factors in mountain fields of the Central Spanish Pyrenees, *Hydrol. Earth Syst. Sci* 12: 523–535.
16. Lal, R. 1990. *Soil Erosion in the Tropics. Principles and Management*. McGraw-Hill, New York. 580 pp.
17. Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., and Kim, K., 2005. GIS-based sediment assessment tool, *Catena*, 64: 61–80.
18. Lu, G.Y., and Wong, D.W., 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers and Geosciences*, 34: 1044-1055.
19. Meusburger, K., Steel, A., Panagos, P., Montanarella, L., Alewell, C., 2012. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 167–177.
20. Mingxin, M. E. N., Y. U. Zhenrong, and X. U. Hao., 2008. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province, China, *Front. Agric. China*, 2(3): 281–289.
21. Mohammadi, J. 2006. *Spatial statistics (Geo statistics-part 2)*. Pelk Publication Tehran, 453p.
22. Mutua, B. M., Klik, A., and Loiskandl, W., 2006. Modeling soil erosion and sediment yield at a catchment scale: the case of masinga catchment, Kenya, *Land Degrad. Dev* 17: 557–570.
23. 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.
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). *Environ Geol*. 50: 1129- 1140.
25. 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.
26. Ruppert, D., 1997. Local polynomial regression and its applications in environmental statistics. *Statistics for the Environment* 3: 155-173.
27. Shi, Z. H., Cai, C. F., Ding, S. W., Wang, T. W., and Chow, T.L., 2004. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS, *Catena* 55: 33–48.
28. Webster, R., and Oliver. M.A., 2000. *Geostatistics for environmental scientists*, Wiley press, 271 pp.
29. Winchell, M. F., Jackson, S. H., Wadley, A. M., and Srinivasan, R., 2008. Extension and validation of a geographic information system based method for calculating the Revised Universal Soil Loss Equation length-slope factor for erosion risk assessments in large watersheds, *J. Soil Water Conserv.*, 63, 105–111.
30. 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, 58 pp.
31. Wischmeier, W. H., and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion, losses: a guide to conservation planning, *Agriculture Handbook*, 537, US Department of Agriculture, Washington, DC, 58 pp.
32. Wischmeier. W.H., 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites, *J Soil and Water Conserv* 26: 189-193.
33. 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.



## Environmental Erosion Research

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



### Evaluation erosivity factor of rain using Geostatistical algorithms (Case Study: Ilam province, Iran)

Gholami, H.<sup>1\*</sup>, Fathizad, H.<sup>2</sup>, Safari, A.<sup>3</sup>, Biniiaz, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Rangeland & Watershed Management Department, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Hormozgan*

<sup>2</sup> *Rangeland & Watershed Management Department, Yazd University*

<sup>3</sup> *Watershed Management Department, Natural Resources College, Sari University of Agricultural Sciences & Natural Resources*

#### Article History:

**Received:**

**October 04, 2015**

**Revised:**

**January 30, 2016**

**Accepted:**

**February 09, 2016**

#### Abstract

Today, soil erosion is considered as one of main subjects of watershed management at national and global levels. Assessment of decreasing risk of soil and its spatial distribution are one of key factors for successful evaluation of soil erosion. The objectives of research were calculation and modeling of rain erosivity factor in Ilam province using data of number of 28 pluviometry stations during of 23 years period. After that, rain erosivity factor was calculated, map of rain erosivity factor was provided using geostatistical algorithms. Spatial correlation between data of rain erosivity was drawn using Variogram. In order to, studying of erosivity index were used (IDW), (GPI), (RBF), (LPI) and kriging. The best algorithm was selected using statistical indices of Root Mean Square Error (RMSE) and MAE. Results showed that, GPI was the best algorithm with RMSE and MAE equal to 28.93 and 20.95, respectively.

#### Keywords:

**Geostatistical  
Rain Erosivity  
Variogram  
Interpolation  
Ilam Province**