

# ارزیابی روش‌های زمین آمار در تهیه نقشه فرساینده‌گی باران استان فارس

محمد شعبانی<sup>۱</sup>، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۶/۰۹

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۱۷

## چکیده

انرژی فرساینده‌گی باران یکی از عوامل موثر در ایجاد فرسایش بارانی است که در مبحث فرسایش آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تهیه نقشه پهنه‌بندی فرساینده‌گی باران و آگاهی از میزان تغییرات آن، نقش مهمی در تهیه طرح‌های حفاظت خاک، کنترل فرسایش و مدیریت اراضی یک منطقه ایفا می‌کند. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان فارس و پهنه‌بندی منطقه از نظر شدت فرساینده‌گی باران است. در این تحقیق، پس از جمع‌آوری آمار بارندگی ۹۲ ایستگاه هواشناسی با طول دوره آماری ۲۰ ساله و با پراکنش مناسب در سطح استان، فرساینده‌گی باران با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده برای کلیه ایستگاه‌ها محاسبه و سپس به‌منظور تعمیم داده‌های نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه‌ای برای تهیه نقشه فرساینده‌گی باران، از روش‌های مختلف میان‌یابی شامل کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK) و روش‌های معین مانند عکس فاصله (IDW)، تابع شعاعی (RBF)، تخمین‌گر موضعی (LPI) و تخمین‌گر عام (GPI) استفاده شد. نتایج بر اساس معیارهای R بالاتر و MAE و RMSE پایین‌تر نشان داد که از بین روش‌های مختلف میان‌یابی، روش کریجینگ معمولی (OK) به دلیل بالاتر بودن مقدار R و پائین‌تر بودن مقادیر MAE و RMSE (MAE=۱۳/۰۹، R=۰/۸۷۱ و RMSE=۱۸/۵۲۳)، نسبت به سایر روش‌های میان‌یابی دیگر برتری داشته، در نتیجه به عنوان روش مناسب در تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان فارس انتخاب شد. نتایج به‌دست آمده مؤید برتری روش‌های زمین‌آمار کریجینگ نسبت به روش‌های معین است. علاوه بر این نتایج نشان داد که ۲۴/۰ درصد از کل سطح استان دارای فرساینده‌گی ناچیز، ۲۷/۰۶ درصد دارای فرساینده‌گی کم، ۴۳/۶۲ درصد دارای فرساینده‌گی متوسط، ۱۴/۴۸ درصد دارای فرساینده‌گی زیاد و ۱۴/۶۰ درصد دارای فرساینده‌گی خیلی زیاد است.

**واژه‌های کلیدی:** تخمین‌گر موضعی، روش‌های معین، شاخص فورنیه اصلاح شده، کریجینگ، کوکریجینگ

## مقدمه

فرسایش خاک از جمله فرآیندهایی است که بر روی منابع آب و خاک تاثیر نامطلوب داشته، منجر به مشکلات اساسی در بسیاری از حوزه‌های آبخیز شده است. قدرت فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی و طبیعت پوشش گیاهی از عوامل موثر بر فرسایش خاک به‌شمار می‌روند. اگر سایر خصوصیات موثر بر فرسایش خاک ثابت در نظر گرفته شود، فرسایش خاک به‌طور مستقیم متناسب با مقدار فرساینده‌گی باران خواهد بود که یکی به دلیل توانایی قطرات باران در جدا نمودن ذرات خاک در حین برخورد با سطح زمین و دیگری به دلیل رواناب‌های حاصله است. فرساینده‌گی باران توانایی بالقوه باران در ایجاد فرسایش بوده، تابعی از خصوصیات فیزیکی باران می‌باشد (Mingxin و همکاران، ۲۰۰۸). به عبارت دیگر، قدرت فرساینده‌گی باران نیروی محرکه یا توان عوامل فرسایش‌زا در جداسازی و انتقال ذرات خاک به‌شمار می‌رود و یکی از عوامل اساسی در ایجاد فرسایش بارانی است (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ محمودزاده،

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول mohamshabani@yahoo.com

۱۳۸۳). آگاهی و اطلاع از مقدار فرسایندهای باران و تهیه نقشه فرسایندهای باران در هر منطقه یکی از راهکارهای مهم در کنترل فرسایش و حفاظت از منابع خاک آن منطقه به شمار رفته، نقش بسیار مهمی در طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی ایفا می‌کند.

روش‌های مختلفی برای محاسبه فرسایندهای باران ارائه شده است که می‌توان آن‌ها را در دو گروه اندازه‌گیری مستقیم و استفاده از شاخص‌ها طبقه‌بندی نمود. اندازه‌گیری مستقیم قدرت فرسایندهای باران مستلزم اندازه‌گیری مستقیم انرژی جنبشی و پاشمان به‌طور هم‌زمان است. اندازه‌گیری مستقیم برای یک سطح وسیع و برای تمام بارندگی‌ها کاری دشوار و سخت است (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ محمودزاده، ۱۳۸۳؛ Mingxin و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به دشواری روش اندازه‌گیری مستقیم، سعی شده است که با اندازه‌گیری هم‌زمان مقدار پاشمان و خصوصیات بارندگی از قبیل شدت بارندگی و مقدار بارندگی و برقراری روابط بین آن‌ها به شاخص‌های مبتنی بر خصوصیات بارندگی دست یافته تا با استفاده از آن‌ها به راحتی بتوان قدرت فرسایندهای باران را محاسبه نمود.

انواع مختلفی از این شاخص‌ها وجود دارد که به‌طور نمونه می‌توان به شاخص‌هایی مانند شاخص  $EI_{30}$  (Smith و Wischmeier، ۱۹۷۸)، شاخص  $KE > 1$  هادسون (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ محمودزاده، ۱۳۸۳)، شاخص  $P^2 / P$  فورنیه (Irvem و همکاران، ۲۰۰۷)، شاخص  $\sum P_i^2 / P$  فورنیه اصلاح شده (محمودزاده، ۱۳۸۳؛ Arnoulds، ۱۹۸۰؛ Mingxin و همکاران، ۲۰۰۸)، شاخص R جهانی (محمودزاده، ۱۳۸۳؛ Onchev، ۱۹۸۵) و غیره اشاره نمود. با انتخاب شاخص مناسب و محاسبه مقادیر نقطه‌ای آن برای هر ایستگاه هواشناسی، می‌توان نقشه فرسایندهای باران را به‌صورت ناحیه‌ای برای یک منطقه ترسیم نمود. برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های ناحیه‌ای می‌توان از روش‌های میان‌یابی استفاده کرد.

حکیم‌خانی و همکاران (۱۳۸۶) در تهیه نقشه فرسایندهای باران برای حوزه آبخیز دریاچه نمک با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده، از پنج روش میان‌یابی TPSS با درجات ۲، ۳، ۴ و ۵، میانگین متحرک وزن دار (WMA) با توان‌های ۱، ۲، ۳ و ۴، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش TPSS با توان ۲، مناسب‌ترین روش در تهیه نقشه فرسایندهای باران در منطقه مورد مطالعه است. Sepaskhah و Sarkhosh (۲۰۰۵) با ارائه رابطه‌ای بین شاخص فورنیه اصلاح شده (MF) و  $EI_{30}$  سالانه به‌صورت زیر نسبت به تهیه نقشه فرسایندهای باران برای مناطق جنوبی کشور اقدام کردند.

$$EI_{30} = [1.54 - 8.69 \times 10^{16} \exp(-P_{a24})] \left( \sum_{i=1}^{12} (P_i^2 / P) \right)^{1.27} \quad (1)$$

در این رابطه،  $P_{a24}$  بیشینه بارش ۲۴ ساعته سالانه (mm)،  $P_i$  مقدار متوسط بارندگی در ماه  $i$ ام (mm)،  $P$  مقدار متوسط بارندگی سالانه (mm) و  $EI_{30}$  شاخص فرسایندهای باران ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ ) است.

در تحقیقی، Irvem و همکاران (۲۰۰۷) به‌منظور تهیه نقشه فرسایندهای باران در حوزه آبخیز رودخانه سیحان<sup>۱</sup> در ترکیه، شاخص فورنیه اصلاح شده را به کار بردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های ۳۰ ایستگاه هواشناسی مقادیر شاخص فورنیه اصلاح شده را برای هر ایستگاه محاسبه و سپس با استفاده از روش میان‌یابی IDW در محیط نرم افزاری ILWIS، نقشه فرسایندهای باران را برای منطقه مورد مطالعه تهیه نمودند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که مقدار این شاخص از ۲۸/۵۹ تا ۱۴۷/۵۴ میلی‌متر در منطقه مورد مطالعه در تغییر است.

در تحقیقی دیگر، Mingxin و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی الگوی مکانی فرسایندهای باران با استفاده از زمین‌آمار در استان حبی<sup>۲</sup> در چین، فرسایندهای باران را با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده برای ۳۷۳ ایستگاه هواشناسی محاسبه و سپس با استفاده از روش‌های مختلف میان‌یابی شامل IDW، کریجینگ معمولی، ساده، کریجینگ گسسته، نقشه فرسایندهای باران را برای کل منطقه تهیه کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که روش

<sup>۱</sup> Seyhan

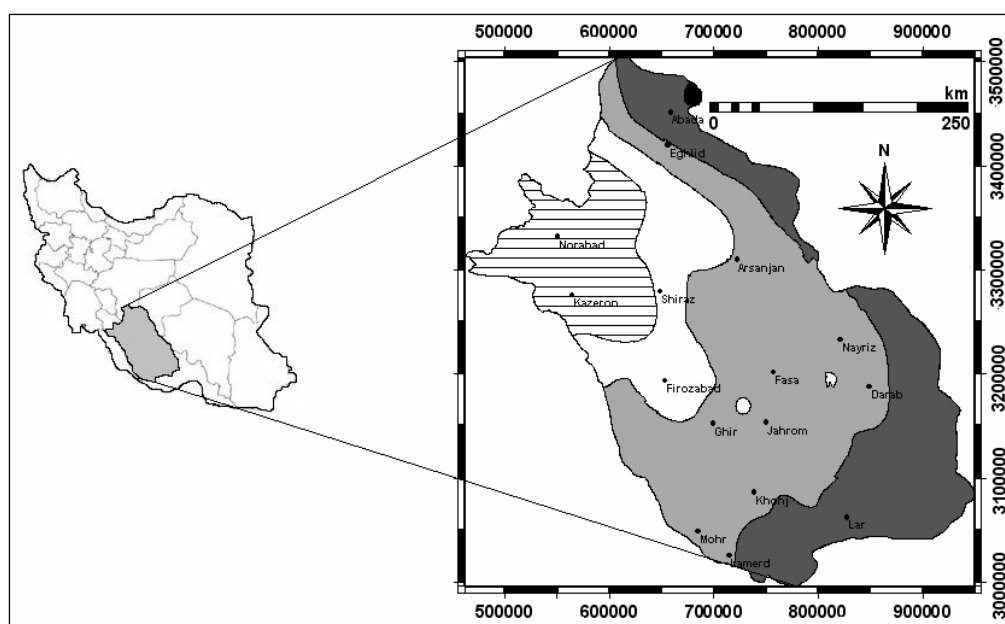
<sup>۲</sup> Hebei

کریجینگ گسسته مناسب‌ترین و دقیق‌ترین روش میان‌یابی در تهیه نقشه فرساینده در منطقه مورد مطالعه است. هم‌چنین، Shamsad و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور تهیه نقشه فرساینده باران در مالزی، سه روش مختلف را برای مدل‌بندی و محاسبه عامل فرساینده باران (R) به‌کار بردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که از بین سه روش به‌کار برده شده، روشی که از شاخص فورنیه برای مدل‌بندی استفاده می‌کند، دارای بالاترین میزان  $R^2$  و کم‌ترین میزان خطا بوده، در نتیجه به‌عنوان بهترین روش برای محاسبه عامل فرساینده در منطقه است. پس از انتخاب روش مناسب برای تهیه نقشه فرساینده باران از بین سایر روش‌های میان‌یابی، روش IDW را مناسب‌ترین روش برای تهیه نقشه فرساینده باران تشخیص دادند و با استفاده از آن اقدام به تهیه نقشه فرساینده باران در منطقه مورد مطالعه نمودند.

در تحقیق دیگری، Lastoria و همکاران (۲۰۰۸) در ایتالیا به‌منظور تهیه نقشه فرساینده باران برای تهیه نقشه فرسایش خاک، شاخص فورنیه اصلاح شده را به‌کار بردند. آن‌ها با استفاده از روابط موجود بین شاخص فورنیه اصلاح شده و شاخص فرساینده باران، مقادیر این شاخص را برای ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی به‌دست آوردند. سپس با استفاده از روش تیسن متوسط عامل فرساینده باران (R) را برای یک دوره ۱۰ ساله محاسبه نمودند. Kouli و همکاران (۲۰۰۹) در یونان عامل فرساینده باران را با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده تعیین کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که از بین روش‌های معین و زمین‌آمار، روش کریجینگ معمولی به‌عنوان مناسب‌ترین روش میان‌یابی در تهیه نقشه فرساینده باران است. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی دقت روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه فرساینده باران در استان فارس و پهنه‌بندی منطقه از نظر شدت فرساینده باران است.

## مواد و روش‌ها

**موقعیت منطقه:** منطقه مورد مطالعه استان فارس در جنوب کشور است. این استان با وسعت ۱۲۲۶۶۱ کیلومترمربع به مرکزیت شهر شیراز بین عرض‌های ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی از خط استوا و طول‌های ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی قرار گرفته است. استان فارس از شمال به استان اصفهان، از جنوب به استان هرمزگان، از شرق به استان‌های کرمان و یزد و از غرب به استان‌های بوشهر و یاسوج محدود می‌شود. استان فارس از نظر تقسیمات کشوری شامل ۲۵ شهرستان، ۷۵ بخش، ۷۸ شهر و ۱۹۷ دهستان می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت استان فارس نسبت به کشور

## روش تحقیق

در استان فارس بیش از ۱۵۰ ایستگاه سینوپتیک، کليما تولوژی، باران سنجی و تبخیرسنجی وجود دارد. از بین این ایستگاه‌ها، ۹۳ ایستگاه هواشناسی با آمار طولانی مدت و پراکنش مناسب در سطح استان انتخاب و یک دوره مشترک آماری ۲۰ ساله (۱۳۸۶-۱۳۶۷) 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 شد. برای انجام آزمون توالی و هم‌گنی داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد. پس از آماده‌سازی داده‌ها، فرسایندگی باران با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده (MF) برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد. این شاخص که به‌وسیله Arnoldus (۱۹۸۰) ارائه شده، به شاخص فائو نیز مشهور است (محمودزاده، ۱۳۸۳)، از معادله (۲) به‌دست می‌آید.

$$MF = \sum_{i=1}^n P_i^2 / P \quad (2)$$

که در آن،  $P_i$  مقدار متوسط بارندگی در ماه  $i$ ام و  $P$  مقدار متوسط بارندگی سالانه ایستگاه در طول دوره آماری می‌باشد. در مرحله بعد، مقدار عددی شاخص فورنیه اصلاح شده (MF) مربوط به کلیه ایستگاه‌ها از نظر نرمال بودن با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنف در محیط SPSS بررسی شد. برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای مذکور به اطلاعات ناحیه‌ای در محیط نرم افزاری ILWIS و ArcGIS از روش‌های زمین‌آمار<sup>۱</sup> کریجینگ ساده<sup>۲</sup> و معمولی<sup>۳</sup> و روش‌های معین<sup>۴</sup> عکس فاصله<sup>۵</sup>، تابع شعاعی<sup>۶</sup>، تخمین گر عام<sup>۷</sup> و تخمین گر موضعی<sup>۸</sup> استفاده شد. به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، واریوگرام داده‌ها به‌طور جداگانه در محیط نرم افزاری GS<sup>+</sup> ترسیم شد. سپس به‌منظور انتخاب روش مناسب میان‌یابی برای تهیه نقشه تغییرات شاخص فورنیه اصلاح شده، از روش ارزیابی متقابل<sup>۹</sup> استفاده شد. 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، به‌طوری که در آخر به‌تعداد نقاط مشاهده‌ای، نقاط برآوردی وجود خواهد داشت. با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد نمود. معیارهای مختلفی برای این کار وجود دارد که می‌توان به میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای اریب یا انحراف<sup>۱۰</sup> (MBE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب همبستگی مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی (R) اشاره نمود (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶ و Mingxin و همکاران، ۲۰۰۸). معادلات (۳) تا (۶) نحوه محاسبه آن‌ها را نشان می‌دهند.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n [Z_{mi} - Z_{ei}]}{n} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_{mi} - Z_{ei}|}{n} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z_{mi} - Z_{ei}]^2}{n}} \quad (5)$$

<sup>1</sup> Geostatistical Methods

<sup>2</sup> Simple Kriging

<sup>3</sup> Ordinary Kriging

<sup>4</sup> Deterministic Method

<sup>5</sup> Deterministic Method

<sup>6</sup> Radial Basis Function

<sup>7</sup> Global Polynomial Interpolation

<sup>8</sup> Local Polynomial Interpolation

<sup>9</sup> Cross Valiation

<sup>10</sup> Mean Bias Error

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z_{ei} - \bar{Z}_{mi}]^2}{\sum_{i=1}^n [Z_{mi} - \bar{Z}_{mi}]^2}} \quad (6)$$

که در آن ها،  $n$  تعداد ایستگاه‌های مطالعاتی،  $Z_{ei}$  مقدار برآوردی برای ایستگاه نام،  $Z_{mi}$  مقدار مشاهده‌ای برای ایستگاه نام و  $\bar{Z}_{mi}$  میانگین مقادیر مشاهده‌ای برای ایستگاه نام است.

در نهایت روش مناسب میان‌یابی تشخیص و مبادرت به تهیه نقشه رقومی فرساینده‌ی باران در کل استان فارس شد. به‌منظور پهنه‌بندی نقشه رقومی فرساینده‌ی باران، در محیط نرم افزاری ILWIS بر اساس پنج طبقه فرساینده‌ی ناچیز ( $< 20 \text{ mm}$ )، کم ( $20-40 \text{ mm}$ )، متوسط ( $40-60 \text{ mm}$ )، زیاد ( $60-90 \text{ mm}$ ) و خیلی زیاد ( $> 90 \text{ mm}$ ) نقشه مورد نظر طبقه‌بندی و مناطق دارای شدت فرساینده‌ی بالا بر روی آن مشخص شد. در این تحقیق از سه معیار MAE، RMSE و R برای ارزیابی نتایج استفاده شده است. به‌طوری که هر روشی که دارای MAE و RMSE پایین‌تر و R بالاتر باشد، به‌عنوان روش مناسب برای تهیه نقشه فرساینده‌ی باران انتخاب می‌شود.

### نتایج و بحث

نتایج مربوط به آزمون کلموگراف-اسمیرنف نشان داد که داده‌های مربوط به شاخص MF نرمال نبوده، لذا از لگاریتم داده‌های این شاخص که نرمال هستند، استفاده شد. لازم به‌ذکر است که شرط نرمال بودن فقط برای روش کریجینگ معمولی است. جدول ۱ مقادیر برخی از آماره‌های شاخص MF را در دو حالت لگاریتمی و غیرلگاریتمی نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر برخی از آماره‌های شاخص MF در دو حالت لگاریتمی و غیرلگاریتمی

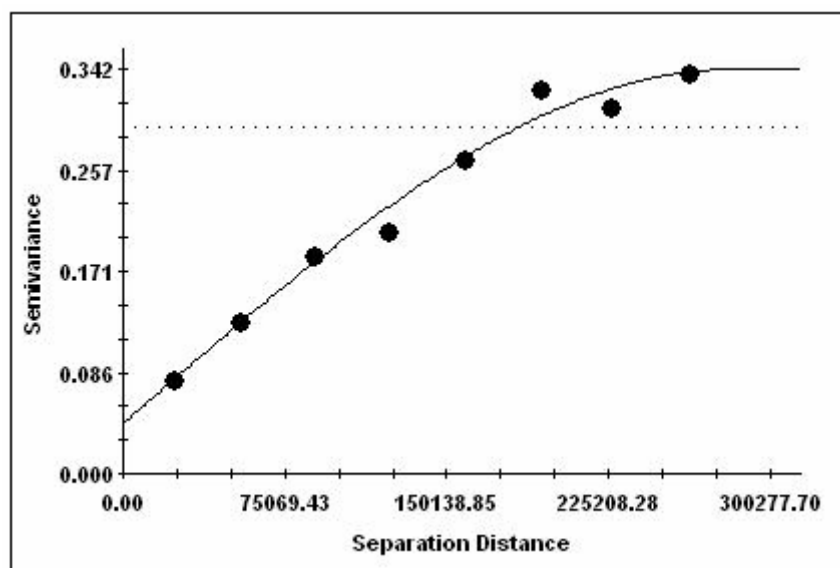
| حالت         | تعداد نمونه | میانگین نمونه‌ها (mm) | انحراف معیار | حداکثر (mm) | حداقل (mm) | چولگی  | کشیدگی |
|--------------|-------------|-----------------------|--------------|-------------|------------|--------|--------|
| غیر لگاریتمی | ۹۲          | ۶۶/۳۱۳                | ۳۴/۵۳۵       | ۱۸۱/۴۱۰     | ۷/۵۲۰      | ۱/۱۰   | ۱/۰۶   |
| لگاریتمی     | ۹۲          | ۴/۰۶۰                 | ۰/۵۴۱        | ۵/۲۰        | ۲/۰۲۰      | -۰/۵۵۰ | ۱/۳۰   |

نتایج مربوط به واریوگرام تجربی و بهترین مدل برازش یافته بر آن همراه با پارامترهای آن در جدول ۲ ارائه شده است. شکل ۲ واریوگرام تجربی لگاریتم شاخص فورنیه اصلاح شده را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای واریوگرام تجربی لگاریتم شاخص فورنیه اصلاح شده

| مدل  | اثر قطعه‌ای (mm) | آستانه (mm) | شعاع تأثیر (m) | متوسط خطای اندازه‌گیری (mm) | $R^2$ | RSS     |
|------|------------------|-------------|----------------|-----------------------------|-------|---------|
| کروی | ۰/۰۴۲            | ۰/۳۴۲       | ۲۸۳۰۰۰         | -۰/۳۹                       | ۰/۹۸۲ | ۰/۰۰۱۷۳ |

جداول ۳ و ۴ به‌ترتیب نتایج ارزیابی روش‌های معین و زمین‌آماري کریجینگ بر اساس معیارهای R، MAE و RMSE را نشان می‌دهند. شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی شده فرساینده‌ی باران بر اساس روش کریجینگ معمولی (OK) را در استان فارس نشان می‌دهد. جداول ۵ و ۶ نیز به‌ترتیب وضعیت فرساینده‌ی باران در کل استان فارس و هر یک از شهرستان‌های استان را نشان می‌دهند.



شکل ۲- واریوگرام تجربی لگاریتم شاخص فورنیه اصلاح شده در منطقه مورد مطالعه

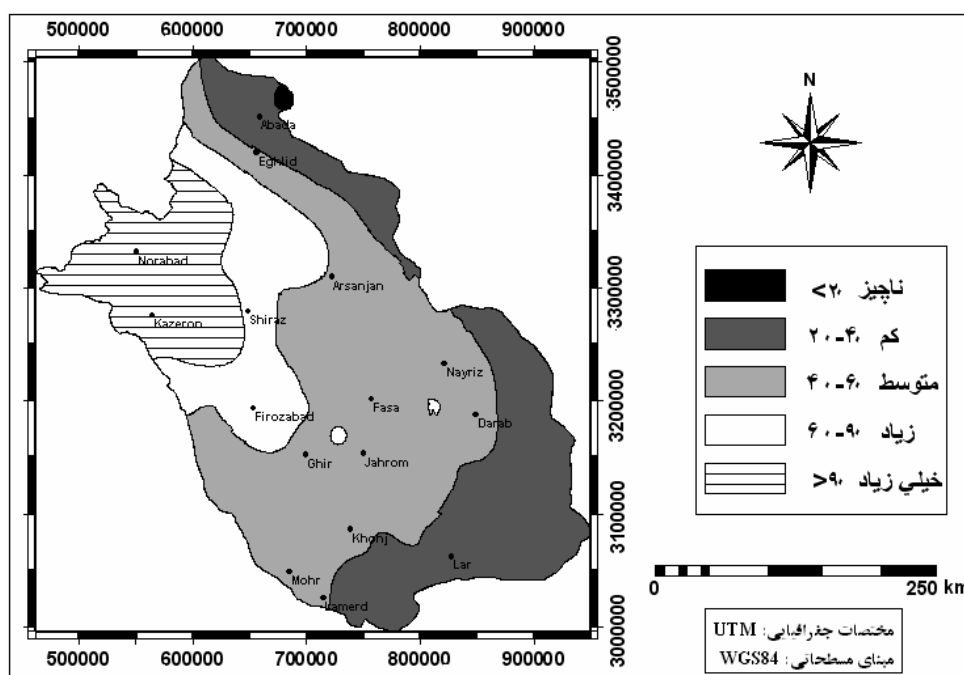
جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های معین بر اساس معیارهای R، MAE و RMSe

| روش                  | R     | MAE    | RMSe   |
|----------------------|-------|--------|--------|
| عکس فاصله (IDW)      | ۰/۸۲۵ | ۱۳/۶۵۶ | ۱۹/۴۰۷ |
| تابع شعاعی (RBF)     | ۰/۷۹۰ | ۱۵/۴۵۲ | ۲۱/۲۳۰ |
| تخمین گر عام (GPI)   | ۰/۸۱۶ | ۱۴/۵۱۲ | ۱۹/۹۱۰ |
| تخمین گر موضعی (LPI) | ۰/۸۳۵ | ۱۳/۱۹  | ۱۹/۰۱۰ |

جدول ۴- نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماري کریجینگ بر اساس معیارهای R، MAE و RMSe

| روش                 | R     | MAE    | RMSe   |
|---------------------|-------|--------|--------|
| کریجینگ ساده (SK)   | ۰/۸۳۱ | ۱۳/۴۳۳ | ۱۹/۱۴۰ |
| کریجینگ معمولی (OK) | ۰/۸۷۱ | ۱۳/۰۹۰ | ۱۸/۵۲۳ |

براساس نتایج مربوط به تحلیل مکانی واریوگرام به‌دست آمده (جدول ۲) مشخص شد که مدل برازش یافته بر مدل تجربی لگاریتم شاخص فورنیه اصلاح شده از نوع کروی بوده، در بین سایر مدل‌های دیگر برازش یافته دارای میزان R بالاتر و RSS پایین‌تر است. شعاع تأثیر واریوگرام شاخص فورنیه اصلاح شده (شکل ۲ و جدول ۲) نشان می‌دهد که شاخص MF تا شعاع ۲۸۳ کیلومتری دارای همبستگی مکانی است. علاوه بر این نتایج حاصل از جداول ۳ و ۴ نیز نشان می‌دهد که تمامی روش‌های میان‌یابی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، دارای مقادیر متفاوتی از R، MAE و RMSe هستند. از آنجایی که معیار انتخاب روش مناسب ارزیابی R بالاتر و MAE و RMSe پایین‌تر است، لذا نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که از بین روش‌های معین برای بررسی میزان تغییرات فرساینده‌گی باران در منطقه، روش تخمین گر موضعی (LPI) به دلیل بالاتر بودن مقدار R و پائین‌تر بودن مقدار MAE و RMSe (R=۰/۸۳۵، MAE=۱۳/۱۹ و RMSe=۱۹/۰۱۰) نسبت به سایر روش‌های معین استفاده شده در این تحقیق، مناسب‌تر است (جدول ۳).



شکل ۳- نقشه وضعیت فرسایندگی باران (mm) در استان فارس

جدول ۵- وضعیت فرسایندگی باران در استان فارس

| طبقه | دامنه طبقات (mm) | وضعیت فرسایندگی | مساحت ( $km^2$ ) | مساحت (درصد) |
|------|------------------|-----------------|------------------|--------------|
| ۱    | <20              | ناچیز           | ۲۸۸/۸۶           | ۰/۲۴         |
| ۲    | ۲۰-۴۰            | کم              | ۳۳۱۵۸/۱۴         | ۲۷/۰۶        |
| ۳    | ۴۰-۶۰            | متوسط           | ۵۳۴۳۹/۷۶         | ۴۳/۶۲        |
| ۴    | ۶۰-۹۰            | زیاد            | ۱۷۷۴۵/۶۰         | ۱۴/۴۸        |
| ۵    | >۹۰              | خیلی زیاد       | ۱۷۸۹۳/۱۶         | ۱۴/۶۰        |

علاوه بر این، نتایج حاصل از جدول ۴ نشان داد که از بین روش‌های کریجینگ، روش کریجینگ معمولی (OK) به دلیل بالاتر بودن مقدار R و پائین‌تر بودن مقدار RMSE و MAE ( $R=0/871$  و  $MAE=13/09$  و  $RMSE=18/523$ ) نسبت به روش کریجینگ ساده بهتر است. با مقایسه دو روش LPI و OK نتیجه‌گیری می‌شود که روش OK باز به دلیل بالاتر بودن مقدار R و پائین‌تر بودن مقدار RMSE و MAE (جدول ۳ و ۴) نسبت به روش LPI ارجحیت داشته، لذا به عنوان روش نهایی در تهیه نقشه فرسایندگی باران در استان فارس انتخاب می‌شود. براساس شکل ۳ فرسایندگی باران از جنوب شرق استان به سمت شمال غرب استان افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج مربوط به وضعیت فرسایندگی باران در استان فارس نشان می‌دهد (جدول ۵) که ۴۳/۶۲ درصد از کل سطح استان دارای فرسایندگی متوسط و ۰/۲۴ درصد از سطح استان دارای فرسایندگی ناچیز بوده که به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سطح را به خود اختصاص می‌دهند.

براساس نتایج به دست آمده از جدول ۶، شهرستان نورآباد در شمال غرب استان دارای متوسط شاخص فورنیه اصلاح شده ۱۱۷/۶۳ میلی‌متر و شهرستان آباده در شمال استان دارای متوسط شاخص فورنیه اصلاح شده ۳۲/۰۸ میلی‌متر بوده که به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فرسایندگی باران را در بین شهرستان‌های استان خواهند داشت. نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج محققانی مانند حکیم‌خانی و همکاران (۱۳۸۶)، Mingxin و همکاران (۲۰۰۸) و Kouli و همکاران (۲۰۰۹) هم‌خوانی دارد.

جدول ۶- وضعیت فرساینده‌گی باران در شهرستان‌های استان فارس

| شهرستان   | متوسط شاخص فورنیه اصلاح شد (mm) | وضعیت فرساینده‌گی |
|-----------|---------------------------------|-------------------|
| آباده     | ۳۲/۰۸                           | کم                |
| اقلید     | ۶۸/۵۹                           | زیاد              |
| خرمبید    | ۴۶/۶۸                           | متوسط             |
| بوانات    | ۳۸/۵۱                           | کم                |
| نورآباد   | ۱۱۷/۶۳                          | خیلی زیاد         |
| مرودشت    | ۸۰/۱۸                           | زیاد              |
| سپیدان    | ۱۰۹/۰۱                          | خیلی زیاد         |
| پاسارگاد  | ۶۴/۴۵                           | زیاد              |
| ارسنجان   | ۵۲/۷۸                           | متوسط             |
| شیراز     | ۷۷/۵۷                           | زیاد              |
| نیریز     | ۴۰/۷۹                           | متوسط             |
| کازرون    | ۱۰۷/۵۴                          | خیلی زیاد         |
| استهبان   | ۵۴/۲۸                           | متوسط             |
| فسا       | ۵۵/۴۰                           | متوسط             |
| فیروزآباد | ۷۲/۵۲                           | زیاد              |
| فراشبند   | ۵۹/۴۳                           | متوسط             |
| جهرم      | ۵۷/۱۹                           | متوسط             |
| داراب     | ۳۹/۹۶                           | کم                |
| زرین‌دشت  | ۴۱/۶۱                           | متوسط             |
| قیر       | ۵۶/۳۴                           | متوسط             |
| لار       | ۳۷/۸۸                           | کم                |
| خنج       | ۵۱/۴۹                           | متوسط             |
| مهر       | ۵۲/۷۵                           | متوسط             |
| لامرد     | ۳۹/۴۱                           | کم                |

## منابع مورد استفاده

۱. حکیم‌خانی، ش.، م.ج. مهدیان و م. عرب‌خدری. ۱۳۸۶. تهیه نقشه فرساینده‌گی باران برای حوضه دریاچه نمک. مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۰، شماره ۳.
۲. محمودزاده، ا. ۱۳۸۳. روش‌های تحقیق در فرسایش خاک. انتشارات جهاد دانشگاهی آذربایجان غربی.
3. Arnoulds, H.M.J. 1980. An approximation of rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: de Boodt, M. and D. Gubriels (Eds.), Assessment of erosion, Wiley, Chichester, UK, 127-132.
4. Irvem, A., F. Topaloglu and V. Uygur. 2007. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. Journal of Hydrology, 336:30-37.
5. Kouli, M., P. Soupios and F. Vallianatos. 2009. Soil erosion prediction using the RUSLE in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Journal of Environmental Geology, 57:483-497.
6. Lastoria, F., A. Miseerocchi, A. Lanciani and G. Monacelli. 2008. An estimated erosion map for the Aterno- Pescara River basin. Journal of EWRA, 21(22):29-9-39.
7. Mingxin, M., Y. Zhenrong and X. Hao. 2008. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistical in Hebei province, China. Journal of Front. Agric. China, 2(3):281-289.
8. Onchev, N.G. 1985. Universal index for calculating rainfall erosion. In: S.A. E-Swaify, W.C. Moldenhauer and A. Lo (Eds.), Soil erosion and conservation. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa: 424-431.



9. Sepaskhah, A.R and P. Sarkhosh. 2005. Estimating storm erosion index in southern region of I.R. Iran. Journal of Science and Technology, B3, 29:357-363.
11. Wischmeier, W.H and D.D Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agricultural Handbook No. 537, A guide to conservation planning. Washington D.C., USDA, Science and Education Administration.

## **Evaluation of geostatistical methods for rainfall erosivity mapping, Fars province**

**Mohammad Shabani**<sup>1</sup>, Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Arsanjan Unit, Islamic Azad University, Iran

Received: 07 March 2011

Accepted: 30 August 2011

### **Abstract**

Rainfall erosivity is one of the effective factors on rainfall erosion which is very important in water erosion. Preparing rainfall erosivity mapping is an important issue in soil conservation, erosion control and land management. The objective of this research is evaluation of geostatistical methods for rainfall erosivity mapping in Fars province. First, 92 meteorological stations having at least 20 years data and relevant distribution over the region were selected and the modified Fournier index was calculated for each station. Then several interpolation methods including Ordinary Kriging (OK), Simple Kriging (SP) and deterministic methods such as Inverse Distance Weights (IDW), Radial Basis Function (RBF), Local Polynomial Interpolation (LPI) and Global Polynomial Interpolation (GPI) were used in order to extend point data to spatial information in the process of preparing rainfall erosivity map. The evaluation of the results based on higher R value and lower MAE and RMSE values showed that among the studied methods, the OK method has higher R value and lower RMSE and MAE values ( $R=0.87$ ,  $MAE=13.09$ ,  $RMSE=18.52$ ), then it was selected as the most appropriate method for rainfall erosivity mapping in Fars province. Also the results revealed that 0.24% of the province has negligible erosivity, 27.06% has low erosivity, 43.62% has moderate erosivity, 14.48 have high erosivity and 14.6% has very high erosivity.

**Key words:** Co-Kriging, Deterministic methods, Kriging, Local Polynomial Interpolation, Modified Fournier index

---

<sup>1</sup> Corresponding author: mohamshabani@yahoo.com