

مقایسه روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌گی باران (مطالعه موردی: استان فارس)

سپه‌یلا زارع^۱

سمیه سلطانی‌گردفرامرزی^۲

مهدی تازه^۳

چکیده

عامل فرساینده‌گی باران مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر فرسایش خاک است که جهت کمی نمودن آن شاخص‌های مختلفی توسعه داده شده است. انتخاب شاخص مناسب با توجه به شرایط اکولوژیکی منطقه ضروری است. هدف از انجام این تحقیق، انتخاب بهترین روش زمین آمار جهت تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان فارس می باشد. بدین منظور شاخص فورنیه برای ۴۲ ایستگاه در استان فارس و اطراف آن محاسبه گردید و با روش‌های درون یابی IDW، GPI و LPI، مدل‌های مختلف روش RBF، کریجینگ ساده و معمولی، بهترین روش میانبایی تعیین و نقشه پهنه بندی شاخص مذکور تهیه گردید. در نهایت، از بین روش‌های قطعی و زمین آماری، روش تابع پایه شعاعی (RBF) با مدل نواری ضخامت کم نسبت به سایر روش‌های میان یابی، به عنوان بهترین روش برای پهنه بندی شاخص فرساینده‌گی استان فارس تعیین گردید. همچنین نتایج نشان داد که شهرستان نورآباد در شمال غرب استان با متوسط تساحص فورنیه ۲۱/۶۲ میلی‌متر و شهرستان ایزدخواست با ۸/۶۷ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین میزان فرساینده‌گی باران را در

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان. نویسنده مسئول.

Email: ssoltani@ardakan.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

بین شهرستان‌های استان دارند. روند موجود حاکی از آن است که مقدار شاخص فرساینده‌گی باران از شرق به غرب افزایش یافته بطوریکه ۴۶ درصد از کل سطح استان دارای فرساینده‌گی کم و سه درصد از سطح استان دارای فرساینده‌گی خیلی زیاد بوده که به ترتیب بیشترین و کمترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند.

واژگان کلیدی: فرسایش آبی، شاخص، فرساینده‌گی باران، پهنه‌بندی.

مقدمه

فرسایش فرایند پیچیده‌ای است که از اثر متقابل خاک، اقلیم، توپوگرافی، پوشش سطحی و کاربری زمین حاصل می‌شود. فرساینده‌گی باران توانایی بالقوه باران در جداسازی و انتقال ذرات خاک است. شاخص‌های فرساینده‌گی باران را می‌توان به طور کلی در قالب دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل الوصول بارندگی تقسیم بندی کرد (انگیم^۱ و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۰۰). یکی از محدودیت‌های شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی نیاز داشتن به داده‌های بارندگی با فواصل زمانی کوتاه مدت بوده که از باران‌نگارها حاصل می‌شود (ویشمایر و اسمیت^۲، ۱۹۷۸). به دلیل دشواری این روش، برخی محققان با اندازه‌گیری همزمان میزان پاشمان یا تلفات خاک و خصوصیات بارندگی و برقراری روابطی بین آنها به شاخص‌هایی رسیده‌اند که مبتنی بر خصوصیات بارندگی است (وندیک^۳ و همکاران، ۲۰۱۰: ۸). در بسیاری از کشورهای دنیا از جمله ایران آمار کافی از بارندگی در حوزه‌های آبخیز در دسترس نیست. در این شرایط محققین مختلف با استفاده از آمار بارندگی روزانه و ماهانه از ایستگاه‌های باران‌سنجی که قابل دسترس هستند، توانسته‌اند شاخص‌های ساده‌تر و زودیافت ارائه کنند. این شاخص‌ها یا از طریق تحلیل منطقه‌ای تولید رسوب یا از طریق برقراری همبستگی و رابطه با شاخص EI₃₀ به دست آمده‌اند (دودوریکو^۴ و همکاران، ۲۰۰۱:

¹ Angima

² Wischmeier and Smith

³ Van Dijk

⁴ Dodorico

۴۲۳۳). دو شاخص فورنیه و فورنیه اصلاح شده معروفترین شاخص‌های گروه اخیر هستند. نکته مهم این است که این شاخص‌ها از نظر منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه‌گیری متفاوت هستند. بنابراین، قبل از اجرای طرح‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش، لازم است تا شاخص فرساینده‌گی مناسب منطقه تعیین شود تا برآورد صحیحی از میزان فرسایش خاک داشت (سیلوا^۱، ۲۰۰۴: ۲۵۸۲). ترسیم چنین نقشه‌هایی به تکنیک‌های زمین‌آمار احتیاج دارد. یکی از روش‌های تعمیم داده‌های نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه‌ای استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار است. ویژگی‌های زمین‌آمار که سبب استفاده گسترده آن شده است، استوار بودن بر تغییرات محلی و در نظر گرفتن وابستگی هر نقطه در ارتباط با نقاط همسایه است. برای این منظور از روش‌های مختلف درون‌یابی مکانی استفاده می‌شود تا از طریق روندی مشخص، مقدار در نقطه مجهول با استفاده از نقاط نمونه برداری شده محاسبه شود. درون‌یابی مکانی اصولاً براساس تشابه نقاط نزدیک به هم استوار است و بنابراین نقاط مجاور تاثیر بیشتری در تعیین مقدار نقطه مجهول دارد (میرموسوی و میریان، ۱۳۹۰: ۱۵۴). نحوه استفاده از روش‌های درون‌یابی با توجه به ویژگی‌های رفتاری عناصر اقلیمی در مکان متفاوت است. تاکنون روش‌های متنوعی برای انجام درون‌یابی در مقالات و منابع گوناگون مطرح و ارزیابی شده است (وصالی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۳؛ اصغری و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۰؛ عابدینی و قاسمیان، ۱۳۹۴: ۲۰۶). (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۹۵)، به منظور تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان خوزستان، شاخص EI_{30} را به عنوان بهترین شاخص معرفی و نقشه‌های فرساینده‌گی را با روش میان‌یابی کوکریجینگ تهیه کردند. (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۱۸) در تهیه نقشه فرساینده‌گی باران برای حوزه آبخیز دریاچه نمک با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده، از روش‌های مختلف میان‌یابی استفاده نمودند. نتایج این محققین نشان داد که روش TPSS با توان دو، مناسب‌ترین روش در تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در منطقه مورد مطالعه است. (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۱) در تحقیقی به منظور تهیه نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران از ۱۶ ایستگاه کليما‌تولوژی محدوده حوضه سد ایلام بهره گرفتند. به منظور تهیه نقشه فرساینده‌گی از

¹ Silva

روش زمین آماری کریجینگ شامل کریجینگ ساده، معمولی و عمومی استفاده و مناسب ترین روش درون یابی را کریجینگ ساده معرفی کردند. (پاناگوس^۱ و همکاران، ۲۰۱۵: ۸۰۵) شاخص فرسایندهی باران را در کل اروپا محاسبه و آنرا پهنه‌بندی کردند. (صادقی و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۵۳) تغییرات مکانی و زمانی شاخص فرسایندهی باران در ایران را بررسی کردند. (عیوضی و مساعدی، ۱۳۹۱: ۵۷)، به منظور تعیین بهترین الگوی توزیع مکانی بارندگی سالانه در سطح استان گلستان، از شش روش درونیابی مکانی فاصله وزنی معکوس، چند جمله‌ای جهانی، چند جمله‌ای محلی، تابع پایه شعاعی، کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کردند. (ما^۲ و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۵۰) تغییرات مکانی و زمانی شاخص فرسایندهی باران در هیمالیا را بررسی کردند. (کولی^۳ و همکاران، ۲۰۰۹) در یونان عامل فرسایندهی باران را با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده تعیین کردند. نتایج نشان داد از بین روش‌های معین و زمین آمار، روش کریجینگ معمولی به عنوان مناسب ترین روش میان یابی در تهیه نقشه فرسایندهی باران است. (خرسندی و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۶۶۱)، برای تعیین مناسب ترین شاخص فرسایندهی در دو اقلیم نیمه خشک و خیلی مرطوب حوزه آبخیز خزر، رابطه رگرسیونی بین شاخص EI_{30} و فورنیه اصلاح شده را در ۲۰ ایستگاه سینوپتیک به دست آورده و به کمک آن میزان EI_{30} را در ایستگاه‌های باران سنجی برآورد نمود. در تحقیق حاضر، پس از محاسبه شاخص فرسایندهی فورنیه در استان فارس و پهنه بندی این استان با استفاده از روش‌های زمین آماری مختلف، به ارزیابی این روش‌ها در تهیه نقشه شاخص فرسایندهی و تعیین بهترین روش درون یابی پرداخته شده است.

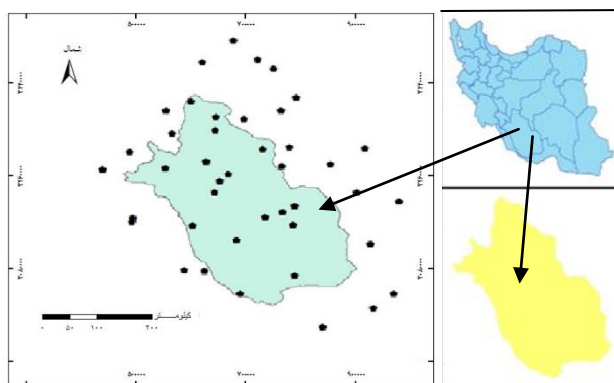
مواد و روش‌ها

¹ Panagos

² MA

³ Kouli

استان فارس، در جنوب ایران با مرکزیت شهر شیراز قرار گرفته است. این استان با وسعت ۱۲۲۶۶۱ کیلومتر مربع 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 اصفهان، از جنوب به هرمزگان، از شرق به استان‌های کرمان و یزد و از غرب به استان‌های بوشهر و کهکلوپه و بویراحمد محدود می‌شود. ایستگاه‌های موجود در استان فارس و اطراف استان فارس که از نظر موقعیت جغرافیایی و پراکنش در منطقه مناسب بودند، انتخاب شدند. شکل (۱) موقعیت این ۴۲ ایستگاه را در داخل و اطراف استان فارس نشان می‌دهد. پس از ترسیم هیستوگرام طول دوره آماری ایستگاه‌ها و با حذف حداقل ممکن از آمارهای موجود، دوره آماری ۲۰ ساله به عنوان پایه زمانی مشترک انتخاب شد.



شکل ۱. نقشه پراکنش ایستگاه‌ها در داخل و اطراف استان فارس

پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌گی و معیارهای ارزیابی آن

در مرحله بعد، با محاسبه شاخص فورنیه (P_i^2/P) که P_i متوسط حداکثر بارندگی ماهانه و P متوسط بارندگی سالانه است) به عنوان شاخص مناسب فرساینده‌ی استان فارس (زارع و همکاران، ۱۳۹۴: ۵)، اقدام به تهیه نقشه این شاخص در استان شد. برای تبدیل شاخص های نقطه‌ای ایستگاه‌ها به اطلاعات ناحیه‌ای از نرم افزار GIS با به کارگیری روش های زمین آماری از جمله کریجینگ ساده و معمولی با مدل های دایره‌ای و کروی، نمای، گوسن و چهاروجهی، پنج وجهی و درجه دوم منطقی، اترقطعه ای، K-bessel، J-bessel و ثابت و روش های معین عکس فاصله، تخمین گر عام و تخمین گر موضعی با توان های وزن دهی یک تا پنج و تابع شعاعی با مدل های توابع نواری کاملاً منظم، چندربعی معکوس، چند ربعی، نواری با کشش و نواری با ضخامت کم استفاده شد. سپس جهت انتخاب بهترین روش میان یابی، از معیارهای خطا RMSE، MAE، MBE و R استفاده گردید. برای انتخاب روش مناسب از تکنیک ارزیابی متقابل استفاده شده است. 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، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. معادلات محاسبه آنها به قرار زیر است:

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

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

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z_{mi} - Z_{ei}]^2}{\sum_{i=1}^n [Z_{mi} - \bar{Z}_{mi}]^2}} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n [Z_{mi} - Z_{ei}]}{n} \quad (4)$$

که در آن‌ها: n = تعداد نقاط مشاهده‌ای، Z_{ei} : مقدار برآوردی بر نقطه i ام، Z_{mi} : مقدار مشاهده‌ای برای نقطه i ام، \bar{Z}_{mi} : میانگین مقادیر مشاهده‌ای است.

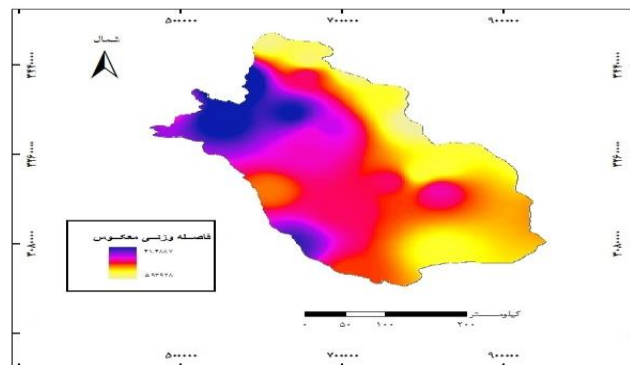
یافته‌ها و بحث

شاخص فورنیه برای ۴۲ ایستگاه مورد استفاده جهت پهنه‌بندی شاخص فرسایندهی باران محاسبه گردید. نتایج روش‌های مختلف درون‌یابی قطعی IDW، GPI و LPI با توان وزنی یک تا پنج در جدول (۱) و روش RBF با مدل‌های نواری کاملاً منظم، چند ربعی معکوس، چند ربعی، نواری با کشش و نواری با ضخامت کم در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین نتایج روش‌های زمین‌آمار، روش‌های کریجینگ معمولی و ساده با مدل‌های دایره‌ای، کروی، چهار وجهی، پنج وجهی، نمایی، گوسی، درجه دوم منطقی، اثر قطعه‌ای، K-bessel، J-bessel و ثابت در جدول (۳) ذکر گردیده است. در ادامه به توضیح مختصر نتایج حاصل از روش‌های مورد بررسی پرداخته می‌شود. در روش فاصله وزنی معکوس به هر یک از ایستگاه‌ها، وزنی بر اساس فاصله بین هر ایستگاه تا موقعیت نقطه مجهول تخصیص می‌یابد. این اوزان توسط توان وزنی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به‌طور یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. با افزایش توان در روش معکوس فاصله از دقت و صحت درون‌یابی این روش کاسته می‌شود (وصالی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به جدول (۱) مشخص شد که توان یک معادله، دارای بیشترین میزان خطا و کمترین میزان همبستگی است و توان سوم، کمترین خطا و بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد. همچنین توان‌های ۲، ۴ و ۵ به ترتیب در جایگاه دوم، سوم و چهارم قرار می‌گیرند. در نتیجه در روش IDW، توان سوم به عنوان مناسب‌ترین روش به منظور تهیه نقشه شاخص فورنیه ارزیابی گردید. نقشه حاصل از این روش با توان سوم در شکل (۲) آمده است. همچنین نتایج حاصل از جدول (۱) حاکی از آن است که در روش چندجمله‌ای محلی با افزایش توان، میزان خطا افزایش و همبستگی کاهش می‌یابد، به طوری که حتی در توان‌های ۴ و ۵، مدل نقاط همسایه خود را از دست داده و قادر به تعیین مقدار ضریب فرسایندهی در اکثر نقاط نبوده است. نقشه حاصل از توان یک با کمترین مقدار RMSE، که بین توان‌های ۱ تا ۳ قابل قبول است، در شکل (۳) قابل مشاهده است. همانطور که جدول (۱) نشان می‌دهد، توان سوم معادله، دارای کمترین میزان RMSE و همبستگی برابر با ۰/۸۳ است. در این روش مقایسه را براساس توان ۱ تا ۳ قرار دادیم زیرا میزان ضریب تبیین در توان‌های ۴ و ۵ عدد قابل قبولی نیست. به طور کلی درصد خطا در

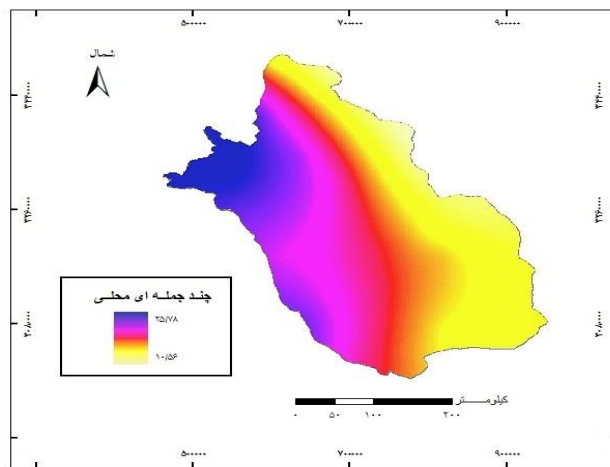
این روش خیلی بالا است و با توجه به شکل (۴)، روش مناسبی برای پهنه بندی شاخص فرساینده‌گی نمی‌باشد. زیرا بیشترین کاربرد این روش استفاده در سطوح با تغییرات ملایم و تدریجی است که استان فارس دارای این ویژگی نمی‌باشد.

جدول ۱. مقادیر اماره‌ای ارزیابی در روش‌های IDW ، GPI و LPI

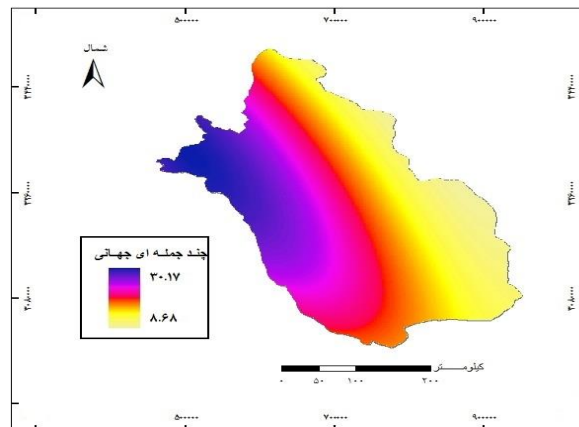
| روش | توان | RMES | MAE | MBE | R |
|-----|------|-------|-------|--------|-------|
| IDW | ۱ | ۷/۶۱ | ۲۵/۵۴ | -۰/۰۱۷ | -۰/۵۲ |
| | ۲ | ۷/۱۴ | ۵/۳۸ | -۰/۰۶۷ | -۰/۶۲ |
| | ۳ | ۷/۰۸ | ۵/۷۹ | +۰/۳۴ | +۰/۷۹ |
| | ۴ | ۷/۴۶ | ۵/۷۱ | -۰/۲۶ | -۰/۵۸ |
| | ۵ | ۷/۲۸ | ۵/۵۸ | -۰/۱۶ | -۰/۷۱ |
| LPI | ۱ | ۷/۱۷ | ۵/۲۶ | -۰/۲۳ | -۰/۶۴ |
| | ۲ | ۹/۸۹ | ۷/۲۳ | -۰/۲۸ | -۰/۵۸ |
| | ۳ | ۲۱/۶۶ | ۱۲/۶۵ | ۳/۶۶ | -۰/۳۴ |
| | ۴ | --- | --- | --- | --- |
| | ۵ | --- | --- | --- | --- |
| GPI | ۱ | ۷/۸ | ۶/۰۹ | -۰/۰۲۳ | -۰/۵۹ |
| | ۲ | ۷/۵۷ | ۵/۳۵ | -۰/۰۶۸ | -۰/۷۱ |
| | ۳ | ۷/۲ | ۵/۱۴ | -۰/۰۴۷ | -۰/۸۳ |
| | ۴ | ۹/۱۵ | ۶/۵۰ | -۰/۲۸ | -۰/۶۷ |
| | ۵ | ۱۱/۳۲ | ۸/۲۲ | ۱/۱۱ | -۰/۵۲ |



شکل ۲. نقشه پهنه بندی شاخص فورنیه با روش IDW



شکل ۳. نقشه پهنه بندی شاخص فورنیه با روش LPI



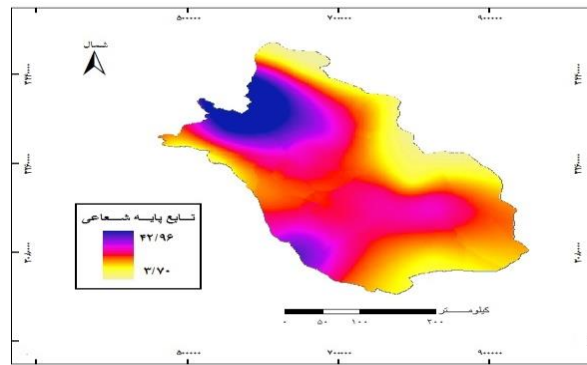
شکل ۴. نقشه پهنه بندی شاخص فورنیه با روش GPI

درون یابی به روش توابع پایه‌ای شعاعی (RBF) می‌تواند روی داده‌های نوین‌داری که به‌طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند اعمال شده و یک درون‌یابی چندمتغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. این روش تاکنون توسط محققین به‌منظور درون‌یابی پارامترهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، تجربیات نشان می‌دهد که می‌تواند نتایج خوبی در کاربردهای مختلف ایجاد کند. درون‌یابی شاخص فرساینده‌گی باران با روش تابع پایه‌ای شعاعی همراه با پنج مدل (توابع نواری کاملاً منظم، چندریعی معکوس، چندریعی، نواری با کشش و نواری با ضخامت کم) بررسی شد. نتایج این روش در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد که مدل نواری با ضخامت کم نسبت به سایر مدل‌ها دارای بیشترین مقدار همبستگی برابر با ۰/۹۵ و کمترین مقدار RMSE است. مدل چند ریعی معکوس بدترین حالت را برای ایجاد نقشه نشان می‌دهد. نقشه حاصل از روش مدل نواری با ضخامت کم در شکل (۵) آورده شده است.

جدول ۲. مقادیر آماره‌ای ارزیابی در روش RBF

| روش | RMES | MAE | MBE | R |
|-------------------------------|------|-------|------|------|
| Completely Regularized spline | ۶/۸۶ | ۱۴/۳۶ | ۰/۲۳ | ۰/۷۳ |
| Spline with Tension | ۶/۷۸ | ۵/۰۴ | ۰/۱۵ | ۰/۷۴ |

| | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|
| Multiquadic | ۶/۹ | ۵/۰۶ | ۰/۱۶ | ۰/۸ |
| Invers Multiquadic | ۶/۸۴ | ۵/۲۴ | ۰/۲۰ | ۰/۷۲ |
| Thine plate Spline | ۶/۳۷ | ۶/۰۶ | ۰/۵۲ | ۰/۹۵ |

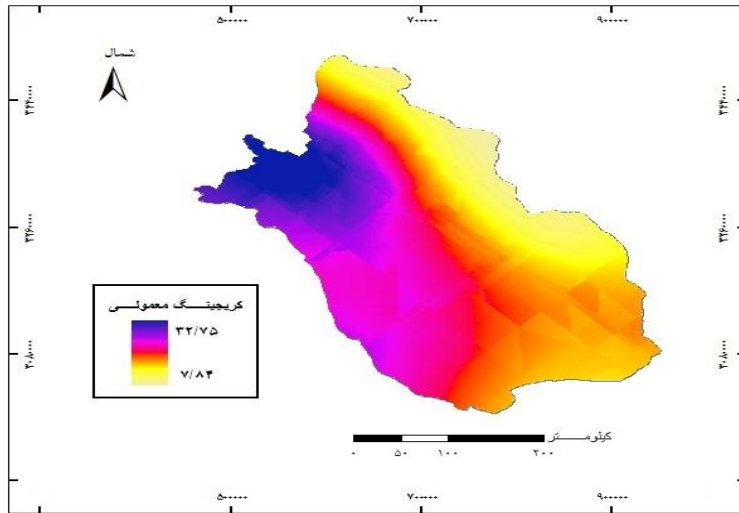


شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی شاخص فورنیه با روش RBF

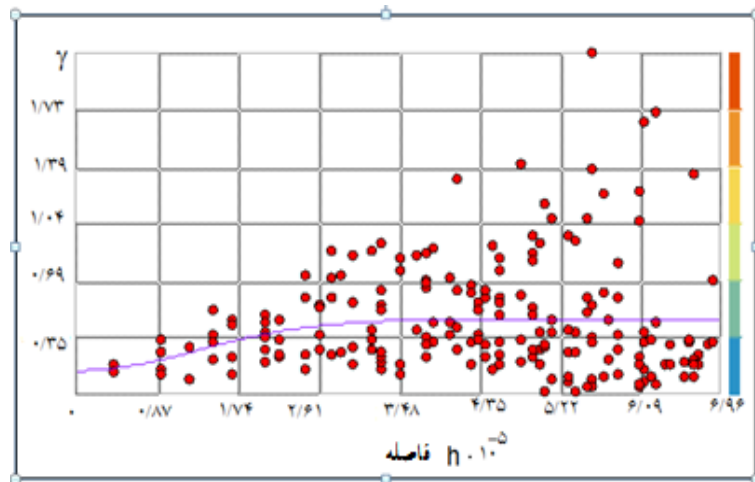
شرط استفاده از کریجینگ روش نرمال بودن توزیع داده‌ها و عدم وجود روند در داده‌ها است. با بررسی‌های صورت گرفته داده‌ها نرمال نبوده و با توجه به واریوگرام رسم شده داده‌ها دارای روند می‌باشند (شکل ۷). در تحقیق حاضر هدف مقایسه روش‌های میانبایی در پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌گی باران است و برای اینکه نامناسب بودن روش کریجینگ در این مطالعه بدلیل عدم برقراری شرط اولیه استفاده از این روش تأیید گردد، به همین سبب استفاده از این روش هم مد نظر قرار گرفت. نتایج حاصل از روش کریجینگ در جدول (۳) آمده است. بر این مبنا در روش کریجینگ معمولی، مدل گوسی با ضریب همبستگی ۰/۸ و RMSE پایین‌ترین نتیجه را داشته است. مدل‌های دایره‌ای و کروی نیز در رده‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. همچنین در روش کریجینگ ساده، مدل کروی و چهاروجهی معیار خطاهای نزدیک به یکدیگر داشتند و مدل چهاروجهی به دلیل ضریب تبیین بالاتر به عنوان مدل مناسب در روش کریجینگ ساده انتخاب شد. نتایج حاصل از این روش‌ها در شکل (۶) و (۸) نمایش داده شده است.

جدول ۳. مقادیر آماره‌ای ارزیابی روش‌های مختلف پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌گی باران در استان فارس در روش کریجنگ معمولی و ساده

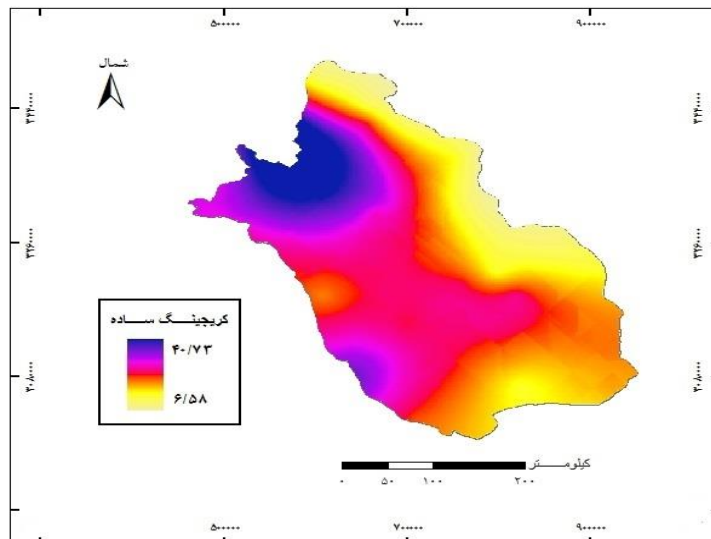
| R | MBE | MAE | RMES | رابطه | روش |
|-------|-------|-------|------|-----------------------|---------------|
| +۰/۷۸ | -۰/۴ | ۵/۱۰ | ۶/۷۱ | Circular | کریجنگ معمولی |
| +۰/۷۸ | -۰/۴۶ | ۲۵/۰۸ | ۶/۷۵ | spherical | |
| +۰/۷۸ | -۰/۴۳ | ۵/۱۷ | ۶/۸۱ | Tetraspherical | |
| +۰/۷۸ | -۰/۴۴ | ۵/۱۵ | ۶/۸ | Pentaspherical | |
| +۰/۷۸ | -۰/۴۶ | ۵/۱۹ | ۶/۷۷ | Expotential | |
| +۰/۸ | -۰/۴۱ | ۵/۰۹ | ۶/۷۷ | Gaussian | |
| +۰/۸ | -۰/۵ | ۵/۱۲ | ۶/۸ | Rational | |
| +۰/۷۸ | +۰/۰۲ | ۵/۶۰ | ۷/۳۱ | Quadratic | |
| +۰/۷۷ | -۰/۴۵ | ۵/۱۸ | ۶/۷۴ | Hole Effect | |
| +۰/۶۸ | -۰/۳۹ | ۵/۱۵ | ۶/۸ | K-Bessel | |
| +۰/۶۸ | -۰/۳۹ | ۵/۱۵ | ۶/۸ | J-Bessel | کریجنگ ساده |
| +۰/۷۷ | -۰/۴۴ | ۵/۱۹ | ۶/۷۶ | Stable | |
| +۰/۷۵ | -۰/۴۴ | ۵/۱۱ | ۶/۶۸ | Circular | |
| +۰/۸۲ | -۰/۲۱ | ۵/۱۱ | ۶/۹۲ | spherical | |
| +۰/۸۳ | -۰/۱۹ | ۵/۱۱ | ۶/۹۴ | Tetraspherical | |
| +۰/۷۷ | -۰/۵۲ | ۵/۱۴ | ۶/۷۴ | Pentaspherical | |
| +۰/۷۶ | -۰/۵۷ | ۵/۱۶ | ۶/۷۱ | Expotential | |
| +۰/۷۷ | -۰/۴۳ | ۵/۰۶ | ۶/۷۳ | Gaussian | |
| +۰/۷۹ | -۰/۶ | ۵/۰۷ | ۶/۷ | Rational | |
| +۰/۷۳ | -۰/۳۲ | ۵/۱۶ | ۶/۸۴ | Quadratic | |
| +۰/۷۶ | -۰/۵۶ | ۵/۱۵ | ۶/۶۹ | Hole Effect | |
| +۰/۷۶ | -۰/۵۶ | ۵/۱۵ | ۶/۶۹ | K-Bessel | |
| +۰/۶۸ | -۰/۳۷ | ۵/۳ | ۶/۹۱ | J-Bessel | |
| +۰/۷۶ | -۰/۵۶ | ۵/۱۷ | ۶/۷ | Stable | |



شکل ۶. مدل گوسی روش کریجینگ معمولی



شکل ۷. واریوگرام کریجینگ معمولی با نیم تغییر نمای گوسی



شکل ۸. مدل چهاروجهی از روش کریچینگ ساده

بررسی تغییرات مکانی شاخص فرساینده

بر اساس نقشه وضعیت فرساینده باران در استان فارس، شکل (۹)، و با توجه به مقادیر شاخص فورنیه، شهرستان نورآباد در شمال غرب استان با متوسط شاخص فورنیه $31/63$ میلی‌متر و شهرستان ایزدخواست با متوسط شاخص فورنیه $8/67$ میلی‌متر بوده که به ترتیب بیشترین و کمترین میزان فرساینده باران را در بین شهرستان‌های استان دارند. روند موجود حاکی از آن است که مقدار شاخص فرساینده باران از شرق به غرب افزایش داشته است. وضعیت مربوط به فرساینده باران در استان فارس نشان می‌دهد (جدول ۴)، که ۴۶ درصد از کل سطح دارای فرساینده کم و سه درصد از سطح استان دارای فرساینده خیلی زیاد بوده که به ترتیب بیشترین و کمترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند. در شکل (۱۰) نقشه چگالی فرساینده استان فارس از تقسیم شاخص فرساینده

بر مقدار بارش ترسیم شده است. نقشه چگالی فرساینده‌گی نشان می‌دهد که بارندگی با رویدادهای شدت بالا در مدت کوتاه نقش مهمی در فرساینده‌گی خاک دارد. بر اساس نتایج، بیشترین مقدار چگالی فرساینده‌گی در استان فارس در جنوب استان مشاهده گردید جایی که فاکتور فرساینده‌گی بیش از دو برابر مقدار بارش است. دامنه تغییرات چگالی فرساینده‌گی در استان فارس ۱/۲۵ تا ۲/۳۳ است. دامنه تغییرات زیاد این پارامتر نشان می‌دهد که فرساینده‌گی باران تنها به مقدار بارندگی بستگی ندارد. در نتیجه غیر ممکن است که مقدار فاکتور فرساینده‌گی بر اساس سطوح بارش پیش‌بینی شود. همچنین می‌توان دریافت که در مناطق با خصوصیات اقلیمی متفاوت نمی‌توان مقدار فاکتور فرساینده‌گی را بر اساس توابع رگرسیونی میان‌بایی کرد و در هر منطقه باید بصورت مجزا مقدار این فاکتور محاسبه گردد.

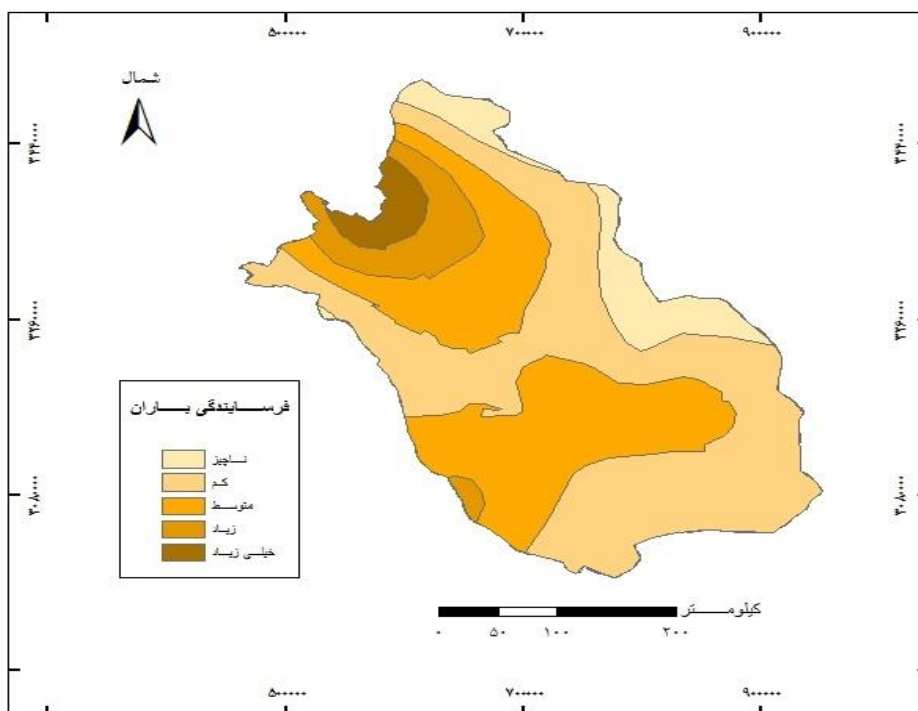
بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی قطعی IDW، GPI، LPI با توان‌های مختلف (۱،۲،۳،۴،۵) و RBF با مدل‌های مختلف (اسپلاین نواری کاملاً منظم، چند ربعی معکوس، چند ربعی، نواری با کشش و نواری با ضخامت کم) و روش زمین‌آماري کریجینگ ساده و معمولی به بررسی روش‌های ذکر شده در تهیه نقشه شاخص فرساینده‌گی باران و انتخاب مناسب‌ترین روش پرداخته شد. براساس نتایج ارائه شده در جدول‌های (۲) و (۳)، از بین چهار روش درون‌یابی قطعی روش RBF نسبت به سه روش دیگر IDW، LPI، GPI نتایج بهتری را ارائه کرده است. از آنجایی که این مدل برای حل مسائل پیش‌بینی، احتیاج به مجموعه الگوهای ورودی خروجی دارد، دارای این توانایی است که به‌عنوان یک درون‌یاب مستقل متغیر مکانی را در یک منطقه پیش‌بینی کند. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج آپایدین^۱ و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. همچنین روش IDW نتایج بهتری را نسبت به دو مدل باقیمانده داشته است. از آنجایی که مدل IDW بر مبنای این فرضیه استوار شده است که در یک سطح، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نیست و نقاط نزدیک، بیشتر و

¹ Apaydian

نقاط دور، کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد، بنابراین هرچه فاصله از مبدأ افزایش می‌یابد، اثر پارامتر بر نقاط موجود در محدوده کمتر می‌شود. طبق نظر جانستون^۱ و همکاران (۲۰۰۱) و آپادین و همکاران (۲۰۰۴)، وقتی داده‌ها از تراکم و پراکندگی زیاد برخوردار باشند، نمی‌توان نتایج خوبی را با استفاده از این روش به دست آورد. روش‌های قطعی LPI و GPI نتایج مناسبی را برای استان فارس نشان ندادند. در کل، از بین روش‌های قطعی روش RBF با مدل نواری ضخامت کم بهترین نتیجه را نشان داده است. این نتیجه با نتایج آپادین و همکاران (۲۰۰۴) و عیوضی و مساعدی (۱۳۹۱) مطابقت دارد. در رابطه با بررسی روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معمولی و ساده، روش کریجینگ ساده با مدل چهار وجهی ($r = 0/83$ ، $RMSE = 6/77$) مناسب‌تر از کریجینگ معمولی با مدل گوسی ($r = 0/80$ ، $RMSE = 6/94$) با توجه به مقادیر خطای RMSE پایین‌تر و r بالاتر بود. البته با توجه به این موضوع که شروط استفاده از روش کریجینگ نرمال بودن و عدم وجود روند در داده‌هاست می‌توان اشاره کرد که روش‌های کریجینگ برای تحقیق حاضر مناسب نیست. با توجه به میزان معیار خطاها در مقایسه روش‌های درون‌یابی، می‌توان روش RBF با مدل نواری ضخامت کم ($r = 0/95$ و $RMSE = 6/37$) با میزان همبستگی بالاتر و میانگین مجذور مربعات خطای پایین‌تر را به‌عنوان روش مناسب برای پهنه‌بندی شاخص مناسب انتخاب‌شده در استان فارس معرفی کرد.

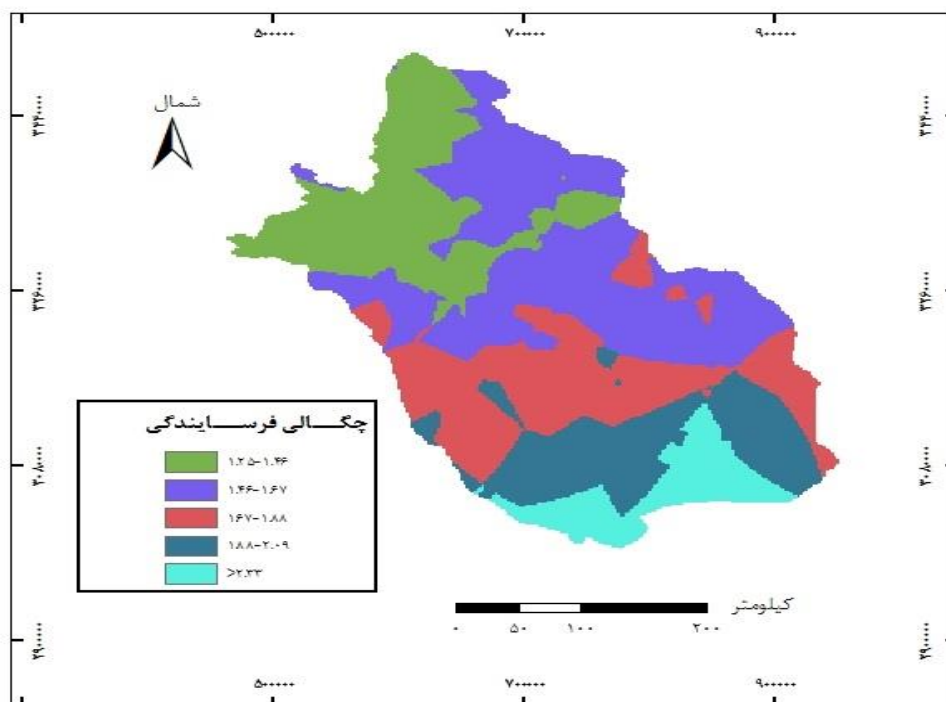
¹ Johnston



شکل ۹. نقشه وضعیت شاخص فرساینده‌گی باران فورنیه (mm) در استان فارس

جدول ۴. وضعیت فرساینده‌گی باران در استان فارس

| طبقه | دامنه طبقات | وضعیت فرساینده‌گی | مساحت (km ²) | درصد مساحت |
|------|-------------|-------------------|--------------------------|------------|
| ۱ | ۳-۱۱ | ناچیز | ۱۰۸۱۱/۱ | ٪۹ |
| ۲ | ۱۱-۱۹ | کم | ۵۶۶۴۲/۷ | ٪۴۶ |
| ۳ | ۱۹-۲۷ | متوسط | ۴۲۳۵۶/۵ | ٪۳۵ |
| ۴ | ۲۷-۳۵ | زیاد | ۸۹۱۶/۱ | ٪۷ |
| ۵ | ۳۵-۴۳ | خیلی زیاد | ۳۷۷۶ | ٪۳ |



شکل ۱۰. نقشه چگالی فرساینده‌گی در استان فارس

منابع

- اسلامی، حسین؛ علی سلاجقه؛ شهرام خلیقی سیگارودی؛ حسن احمدی و شمس‌الله ایوبی. (۱۳۹۳). "بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های فرساینده‌گی باران با استفاده از زمین‌آمار در استان خوزستان"، *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۳ (۶۷): ۳۹۳-۴۰۶.
- اصغری کلجاهی، ابراهیم؛ فاطمه نمکچی و عبدالرضا واعظی هیر. (۱۳۹۵). "پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه غرب شهرستان خوی به روش آنالاکان". *مجله جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۰ (۵۶): ۳۸-۱۹.
- حکیم خانی، شاهرخ؛ محمدحسین مهدیان و محمود عرب خدری. (۱۳۸۶). "تهیه نقشه فرساینده‌گی باران برای حوضه دریاچه نمک". *مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۰ (۳): ۷۱۳-۷۲۶.
- زارع، سهیلا؛ سلطانی گردفرامری، سمیه و مهدی تازه. (۱۳۹۴). "بررسی روابط بین ضریب فرساینده‌گی و پارامترهای مختلف باران در منطقه شیراز". *اولین همایش ملی بحران آب و مدیریت آن در مناطق خشک ایران*. بهمن ماه، دانشگاه یزد.
- شعبانی، افشین؛ حمیدرضا متین فر؛ صالح آرخی و سعید رحیمی هرآبادی. (۱۳۹۰). "مدلینگ فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از روش زمین‌آمار (مطالعه موردی: سد ایلام)". *مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ۲ (۲): ۵۵-۶۷.
- عابدینی، موسی و بهاره قاسمیان. (۱۳۹۴). "پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان بیجار به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)". *مجله جغرافیا و برنامه ریزی*، ۱۹ (۵۲): ۲۲۷-۲۰۵.
- عیوضی، معصومه و ابوالفضل مساعدی. (۱۳۹۱). "بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین‌آمار". *مجله آب و خاک*، ۲۶ (۱): ۵۳-۶۴.
- میرموسوی، سید حسین و مینا میریان. (۱۳۹۰). "کاربرد روش‌های زمین‌آمار در مطالعات توزیع مکانی بارش". *مجله جغرافیا و برنامه ریزی*، ۱۶ (۳۸): ۱۵۳-۱۷۸.
- وصالی، سید علی؛ رضا قضاوی؛ محمدحسین رستم؛ اسماعیل حیدری علمدارلو و رضا باقری. (۱۳۹۴). "انتخاب بهترین روش میان یابی برای پهنه‌بندی بارش سالانه در ایران". *فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه*، ۳ (۲): ۱۶۹-۱۸۸.

- Angima SD, Stott DE, Neill MKO, Ong CK, Weesies GA. (2003). "Soil erosion predicting using RUSLE for central Kenyan highland conditions. Agriculture". *Ecosystems and environment*, 97: 295-308.
- Apaydian H, Sonmez K, Yildirim E. (2004). "Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey". *Journal of Climate Research*, 28(1): 31-40.
- D'odorico P, Yoo JC, Over TM. (2001). "An assessment of ENSO-induced patterns of rainfall erosivity in the southwestern United States". *Journal of climate*, 14(21):4230-42.
- Johnston K, Verhoef JM, Krivoruchko, K. (2001). "Using Arcgis Geostatistical Analyst". Esri, Redlands.
- Kouli M, Soupios P, Vallianatos F. (2009). "Soil erosion prediction using the Revised Universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chain, Northwestern Crete, Greece". *Environment Geology*, 57: 49-483.
- Khorsandi N, Mahdian, MH, Pazira E, Nikkami D, Chamheidar H. (2012). "Comparison of the different interpolation methods for investigating spatial variability of the index". *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6): 1659-1666.
- MA X, HE Y, XU J, LU X. (2014). "Spatial and temporal variation in rainfall erosivity in a Himalayan Watershed". *Catena*, 121: 248-259.
- Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, Meusburger K, Klik A, Rousseva S, Tadić MP, Michaelides S, Hrabalíková M, Olsen P, Aalto J, Lakatosj M, Rymaszewicz M, Dumitrescu A, Beguería S, Alewell C. (2015). "Rainfall erosivity in Europe". *Science of the Total Environment*, 511: 801-814.
- Sadeghi SH, Moatamednia M, Behzadfar M. (2011). "Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran". *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13:451-64.
- Silva AM. (2004). "Rainfall erosivity map for Brazil". *Catena*, 57: 251-2591.



- Van Dijk AL, Bruijnzeel LA, Rosewell CJ. (2010). "Rainfall intensity-kinetic energy relationship: a critical literature appraisal". *Journal of Hydrology*, 261:1-23.
- Wischmeier WH, Smith DD. (1978). "Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning".