

جغرافیا و توسعه شماره ۴۸ پاییز ۱۳۹۶

وصول مقاله : ۱۳۹۵/۰۱/۲۰

تأیید نهایی : ۱۳۹۵/۰۸/۰۹

صفحات : ۲۳۱-۲۴۴

تعیین بهترین شاخص فرساینده‌گی باران در استان فارس و پهنه‌بندی آن

سهیلا زارع^۱، دکتر سمیه سلطانی گرده‌فرامرزی^{۲*} دکتر مهدی تازه^۳

چکیده

امروزه فرسایش آبی به عنوان یکی از مسائل مهم در کشاورزی و آبخیزداری مطرح است و محققان با انجام تحقیقات مختلف به دنبال راهکارهایی برای به حداقل رساندن آن هستند. شاخص فرساینده‌گی باران مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک بوده و تابعی از خصوصیات فیزیکی باران می‌باشد. جهت کمی کردن عامل فرساینده‌گی باران شاخص‌های مختلفی توسعه داده شده‌اند که انتخاب شاخص مناسب با توجه به شرایط اکولوژیکی منطقه حائز اهمیت است. تحقیق حاضر به منظور تخمین ضریب فرساینده‌گی باران بر اساس بررسی ارتباط بین شاخص‌های مبتنی بر مقدار و عامل فرساینده‌گی معرفی شده توسط ویشمایر و اسمیت (EI₃₀) و پهنه‌بندی ضریب فرساینده‌گی باران با روش‌های مختلف قطعی و زمین آمار در استان فارس انجام شده است. بررسی روابط رگرسیونی بین عوامل ذکر شده، نشان داد که شاخص فورنیه با ضریب تبیین ۰/۸۰، همبستگی بالایی با ضریب فرساینده‌گی (R) دارد. در نتیجه بر اساس معادله حاصل شده، R هر ایستگاه محاسبه شد. در نهایت روش تابع پایه شعاعی با مدل نواری کاملاً منظم بر اساس جذر میانگین مربعات خطا پایین‌تر و ضریب تبیین بالاتر نسبت به روش‌های دیگر انتخاب شد. براساس نقشه ضریب فرساینده‌گی باران بیشترین میزان فرساینده‌گی در قسمت شمال استان و کمترین مقدار آن در ناحیه‌ی شرق و شمال‌شرق می‌باشد. همچنین ۴۴ درصد استان دارای فرساینده‌گی متوسط و ۱۰ درصد در معرض فرسایش زیاد می‌باشد. کلیدواژه‌ها: فرسایش آبی، فرساینده‌گی باران، فورنیه، پهنه‌بندی، زمین آمار.

مقدمه

خاک یکی از مهمترین منابع طبیعی در هر کشوری است که فرسایش آن باعث بروز بسیاری از مشکلات انسانی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌گردد. در ایران بیش از ۷۵ درصد خاک‌ها در معرض فرسایش می‌باشند (علیزاده، ۱۳۶۵: ۱۶۵). فرسایش خاک و رسوب یکی از معضلاتی است که در بسیاری از کشورها وجود دارد که باعث از بین رفتن خاک‌ها، بروز سیلاب‌های شدید، کاهش عمر مفید سدها و مشکلات اقتصادی و اجتماعی می‌شود. جهت توصیف قدرت باران در فرسودن خاک از شاخصی به نام فرساینده‌گی باران استفاده می‌شود که توانایی باران را در از بین بردن پیوستگی و چسبندگی ذرات خاک نشان می‌دهد (علیزاده، ۱۳۶۵: ۱۵۰). فرساینده‌گی باران با دو روش اندازه‌گیری مستقیم و استفاده از شاخص‌ها (Lal, 1994:195) انجام می‌گیرد. به دلیل دشواری روش مستقیم، 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 (Hudson, 1995: 205).

بطور کلی شاخص‌های فرساینده‌گی باران را می‌توان در دو گروه تقسیم کرد: شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی یا شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۲۰). در دسته اول به شکلی از شدت بارندگی یا انرژی جنبشی یا هر دوی آنها در ارایه شاخص فرساینده‌گی استفاده می‌شود. یکی از مشکلات این دسته از شاخص‌ها نیاز به آمار طولانی مدت شدت بارندگی و ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار است که چنین شرایطی در بیشتر نقاط دنیا وجود ندارد (Silva, 2004:255). در این شرایط در ایستگاه‌هایی که این آمار وجود دارد و می‌توان شاخص فرساینده‌گی را در آنها محاسبه

کرد، در صورتی که بین این شاخص و یکی دیگر از پارامترهای معمول بارندگی (نظیر مقدار و شدت بارش‌ها) همبستگی وجود داشته باشد، می‌توان از رابطه بین این دو عامل استفاده کرد و شاخص فرساینده‌گی را برای دیگر نقاط تعیین نمود (Renard & Foster, 1997:520).

از این رو، محققان با استفاده از آمار سهل‌الوصول بارندگی، که به سادگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی قابل محاسبه‌اند شاخص‌های ساده‌تری ارائه کرده‌اند. این شاخص‌ها یا از تحلیل منطقه‌ای رسوب یا از طریق برقراری همبستگی و رابطه با شاخص EI_{30} به دست آمده‌اند. از معروف‌ترین شاخص‌های این گروه می‌توان به شاخص فورنیه و فورنیه اصلاح شده اشاره کرد (Arnoldus, 1977:42).

با محاسبه‌ی مقادیر شاخص‌ها به صورت نقطه‌ای در ایستگاه‌های هواشناسی، می‌توان نقشه‌های فرساینده‌گی باران را به صورت ناحیه‌ای ترسیم کرد. ترسیم چنین نقشه‌هایی به تکنیک‌های زمین آمار احتیاج دارد. یکی از روش‌های تعمیم داده‌های نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه‌ای استفاده از تکنیک‌های زمین آمار است. ویژگی‌های زمین آمار که سبب استفاده‌ی گسترده‌ی آن شده است، استوار بودن بر تغییرات محلی و در نظر گرفتن وابستگی هر نقطه در ارتباط با نقاط همسایه است (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۰۰).

در این زمینه تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. حکیم‌خانی و حکیم‌خانی (۱۳۸۸) در استان لرستان، با استفاده از شاخص فرساینده‌گی EI_{30} نقشه فرساینده‌گی باران را تهیه کردند. به‌منظور برآورد شاخص یاد شده برای مناطق فاقد داده‌های باران‌نگار از تحلیل رگرسیونی استفاده و مناسب‌ترین رابطه رگرسیونی را بر مبنای متغیر شاخص فورنیه اصلاح شده به دست آوردند.

نیک‌نامی و مهدیان (۱۳۹۳) به منظور تعیین بهترین شاخص فرساینده گی در کل کشور، با بررسی ۶۴ شاخص مختلف، شاخص EI_{30} را به عنوان بهترین شاخص معرفی و جهت ترسیم نقشه فرساینده گی، از روش اسپلاین استفاده کردند.

غلامی و همکاران (۱۳۹۴) فاکتور فرساینده گی باران در استان ایلام را با استفاده از الگوریتم‌های زمین آمار برآورد کردند. کاویان و همکاران (۱۳۹۵) بهترین شاخص فرساینده گی باران در استان کرمان را تعیین و با روش کریجینگ ساده به عنوان بهترین روش پهنه‌بندی، نقشه فرساینده گی در استان کرمان را ترسیم کردند.

در تحقیقی ایروم و همکاران (۲۰۰۷) به منظور تهیه نقشه‌ی فرساینده گی باران در حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌ی سیحان در ترکیه، شاخص فورنیه اصلاح‌شده را به کار بردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های ۳۰ ایستگاه هواشناسی مقادیر شاخص فورنیه اصلاح‌شده را برای هر ایستگاه محاسبه و سپس با استفاده از روش‌های میان‌یابی IDW در محیط نرم‌افزاری ILWIS، نقشه فرساینده گی باران را برای منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه نمودند.

کولی و همکاران (۲۰۰۹) در یونان عامل فرساینده گی باران را با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح‌شده تعیین کردند. نتایج تحقیقات این گروه نشان داد از بین روش‌های معین و زمین‌آمار، روش کریجینگ معمولی به عنوان مناسب‌ترین روش میان‌یابی در تهیه نقشه‌ی فرساینده گی باران است.

زیشنگ و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی فرسایش خاک ناحیه‌ی کوهستانی در جنوب شرقی چین ضرایب همبستگی بین میزان تلفات خاک از اراضی شیب‌دار را با برخی پارامترهای بارندگی بررسی نمودند. آن‌ها شاخص حداکثر شدت ۶۰ دقیقه‌ای را

خرسندی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص فرساینده گی در دو اقلیم نیمه-خشک و خیلی مرطوب حوزه‌ی آبخیز خزر، رابطه رگرسیون بین شاخص EI_{30} و فورنیه اصلاح‌شده را در ۲۰ ایستگاه سینوپتیک به دست آورده و به کمک آن میزان EI_{30} را در ایستگاه‌های باران‌سنجی برآورد نمودند.

موسوی کیاسری و همکاران (۲۰۱۲) با مقایسه ۶۳ شاخص فرساینده گی باران در سه استان خراسان رضوی، سمنان و اصفهان نشان دادند شاخص EI_{30} با ضریب همبستگی پایین‌تری در هر سه استان از شاخص‌های مورد اعتماد بوده است.

شعبانی (۱۳۹۰) شاخص فورنیه اصلاح‌شده را برای ۹۲ ایستگاه در استان فارس محاسبه و آن را با انواع روش‌های میان‌یابی پهنه‌بندی کرد. هرچند او در تحقیقش دلیل استفاده از شاخص فورنیه اصلاح‌شده را تنها رایج بودن این شاخص عنوان کرد. شعبانی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به منظور تهیه نقشه‌ی فاکتور فرساینده گی باران از ۱۶ ایستگاه کلیماتولوژی محدوده حوضه سد ایلام بهره گرفتند. ایشان برای تهیه نقشه از روش زمین‌آمار کریجینگ شامل کریجینگ ساده، معمولی و عمومی استفاده و مناسب‌ترین روش درون‌یابی را کریجینگ ساده معرفی کردند.

نیک‌نامی (۱۳۹۱)، در استان تهران ۶۶ شاخص فرساینده گی را مورد بررسی قرار داده و شاخص فورنیه اصلاح‌شده را به عنوان مناسب‌ترین شاخص بیان کرد. موسوی کیاسری و همکاران (۱۳۹۲)، با بررسی روابط رگرسیونی بین شاخص‌های فرساینده گی باران و تلفات خاک از کرت‌های آزمایشی پس از وقایع منفرد بارش، شاخص مناسب مبتنی بر شدت بارندگی در استان سمنان را تعیین کردند.

فرسایش‌پذیری به منظور برنامه‌ریزی‌های مدیریتی کمک خواهد کرد.

داده‌ها و روش کار

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 یاسوج محدود می‌شود (شکل ۱). استان فارس تحت تأثیر ویژگی‌های توپوگرافیک، سه ناحیه‌ی آب و هوایی مشخص دارد که شامل: ۱- ناحیه‌ی کوهستانی شمال، شمال باختر و باختر می‌باشد، این ناحیه دارای زمستان‌های سرد معتدل و پوشش گیاهی قابل توجه می‌باشد، میزان بارندگی این ناحیه در حدود ۴۰۰-۶۰۰ میلی‌متر در سال است. ۲- ناحیه‌ی مرکزی در زمستان‌ها آب و هوای نسبتاً معتدل توأم با بارندگی و در تابستان‌ها، هوایی گرم و خشک دارد، میزان بارندگی در این ناحیه بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در سال است.

۴۲ ایستگاه موجود در استان فارس و اطراف استان که از نظر موقعیت جغرافیایی و پراکنش در منطقه مناسب بودند، انتخاب شدند (شکل ۲). در مطالعات پارامترهای اقلیمی، یکسانی شرایط برای ایستگاه‌های مورد مطالعه از شروط اولیه و اساسی مطالعه است. لذا پس از ترسیم هیستوگرام طول دوره آماری ایستگاه‌ها و با حذف حداقل ممکن از آمارهای موجود، دوره‌ی آماری ۲۰ ساله به عنوان پایه زمانی مشترک انتخاب شد.

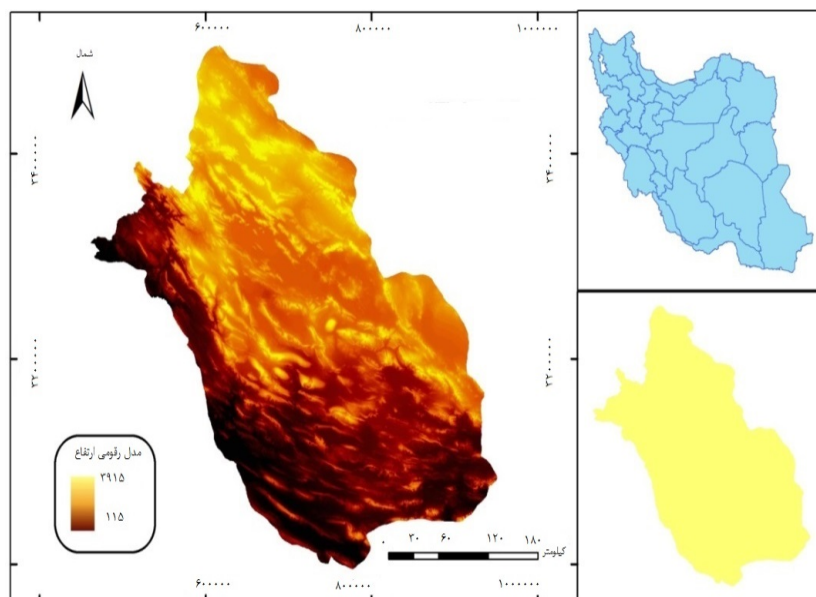
که با میزان تلفات خاک همبستگی بالایی نشان داد، به عنوان شاخص مناسب انتخاب کردند.

مسبورگر و الوول (۲۰۰۸) به منظور بررسی توزیع مکانی و زمانی عامل R در فرمول تجدید نظر شده‌ی معادله‌ی جهانی فرسایش، از داده‌های بارندگی ۷۱ ایستگاه باران‌سنج خودکار واقع در سوییس استفاده کردند. برای ترسیم نقشه‌ی فرسایش از روش درون‌یابی رگرسیون کریجینگ استفاده کردند.

پاناگوس و همکاران (۲۰۱۵) بر اساس داده‌های بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای، فاکتور R را محاسبه کردند. سپس با پهنه‌بندی فاکتور R در اروپا، بالاترین مقدار R در مدیترانه و آلپ و کمترین مقدار را در شمال اروپا بیان کردند.

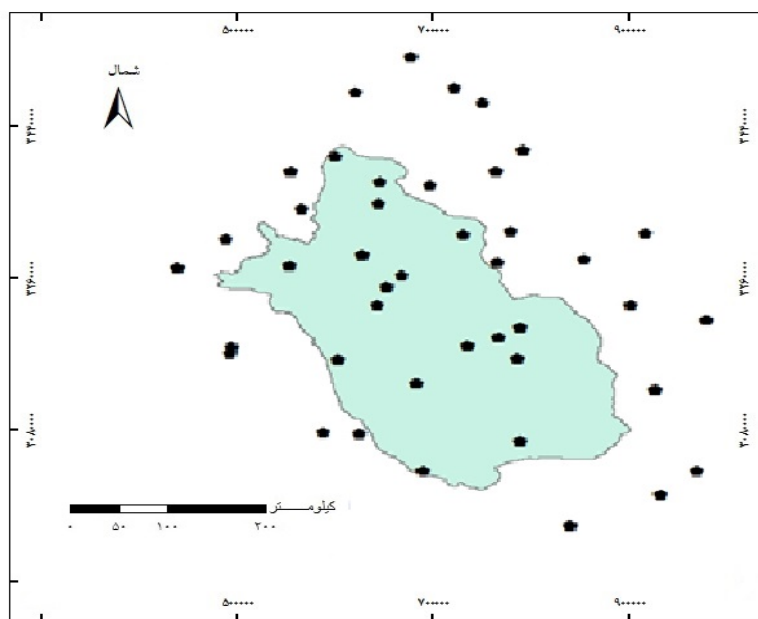
لی و هئو (۲۰۱۱)، به منظور ارزیابی مدل برای تخمین فرسایش باران در کره جنوبی، ۳۳ پارامتر بارندگی و فاکتور R را با داده‌های بارش برای چند ایستگاه محاسبه کردند. از نتایج آنالیز رگرسیونی بین پارامترهای ذکر شده، یک مدل رگرسیونی مناسب را برای محاسبه‌ی فاکتور R در هر ایستگاه به دست آوردند.

هدف از تحقیق حاضر، تخمین ضریب فرسایش باران با استفاده از روابط حاصل شده میان ضریب فرسایش و شاخص‌های مبتنی بر مقدار است تا در ادامه نقشه‌ی وضعیت فرسایش باران در استان فارس ترسیم گردد. این در حالی است که محاسبه‌ی شاخص‌ها و تهیه‌ی بهترین نقشه‌ی فرسایش باران تاکنون به صورت جداگانه برای استان فارس انجام نشده است. همچنین سعی گردید تا نتایج حاصل از داده‌های باران‌نگار ثابت در ایستگاه سینوپتیک شیراز به داده‌های باران‌سنج‌های استان تعمیم داده شود. این مطالعه در شناسایی مناطق استان با پتانسیل بالای



شکل ۱: موقعیت استان فارس نسبت به کشور

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۲: نقشه پراکنش ایستگاه‌ها در داخل و اطراف استان فارس

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

بررسی همگنی و نرمال بودن داده‌ها

داده‌هایی که در ایستگاه‌های هواشناسی برداشت می‌شوند، ممکن است به دلایلی از جمله خراب بودن دستگاه مربوطه یا تعویض نوع دستگاه اندازه‌گیری یا

بی‌توجهی مسئولان ذیربط به صحت آمار، دارای ناهمگنی در داده‌های بارندگی یا پارامترهای دیگر باشند. به همین دلیل داده‌های بارندگی روزانه از لحاظ همگنی مورد بررسی قرار گرفت.

محاسبه شاخص‌های فرساینده‌گی

در این مرحله، اقدام به محاسبه شاخص‌های فرساینده‌گی از جمله شاخص فورنیه، فورنیه اصلاح شده، Ciccacci و IAS شد. آماره‌های توصیفی شاخص‌های فرساینده‌گی فورنیه در جدول ۲ به عنوان نمونه آورده شده است. میانگین مقادیر شاخص فورنیه برای ۴۲ ایستگاه مورد مطالعه، در ایستگاه نایین برابر با ۳/۵۰ که کمترین مقدار و در ایستگاه یاسوج برابر ۴۲/۹۲ که بیشترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داده است.

آزمون کلموگراف اسمیرنوف^۱ با معیار نرمال بودن ($\text{sig} > 0.05$) صورت گرفت. اما طبق جواب به دست آمده داده‌ها نرمال نبودند. در نتیجه اقدام به استفاده از روش‌های تبدیل لگاریتمی و تبدیل BOX-COX گردید که در این حالت هم داده‌ها نرمال نشدند. اما شاخص فورنیه محاسبه شده نیز در نرم‌افزار بررسی شد و مقدار ($\text{sig} > 0.05$) شد که نشان از نرمال بودن شاخص فورنیه دارد. شرط نرمال بودن داده‌ها فقط برای استفاده از روش کریجینگ در پهنه‌بندی منطقه می‌باشد.

جدول ۱: شاخص‌های فرساینده‌گی محاسبه شده

توضیحات	شاخص فرساینده‌گی باران
E: انرژی جنبشی یک بارندگی I ₃₀ : حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در یک بارندگی	EI ₃₀
P _i : متوسط حداکثر بارندگی ماهانه (مرطوب‌ترین ماه سال) P: متوسط بارندگی سالانه	شاخص فورنیه (P_i^2/P)
P _i : متوسط بارندگی برای ماه آ ام P: متوسط بارندگی سالانه در طول دوره آماری	شاخص فورنیه اصلاح شده ($\sum_{i=1}^{12} P_i^2 / P$)
P: متوسط بارندگی سالانه σ: انحراف معیار مقادیر بارندگی‌های ماهانه	شاخص Ciccacci (P/σ)
m _{1st max} : اولین حداکثر بارش ماهانه در سال m _{2nd max} : دومین حداکثر بارش ماهانه در سال	شاخص IAS IAS = m _{1st max} + m _{2nd max}

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

جدول ۲: آماره‌های توصیفی شاخص‌های فورنیه محاسبه شده برای تعدادی از ایستگاهها (میلیمتر)

ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
شیراز	۲۱/۶۴	۱۴/۲۰	۰/۶۵	۸/۸۰	۵۹/۸۹	۱/۹۵	۳/۰۱
آباده	۹/۷۶	۵/۶۲	۰/۵۷	۱/۸۹	۲۰/۲۱	۰/۴۲	-۰/۸۸
سدرودزن	۳۰/۳۱	۱۶/۰۴	۰/۵۲	۸/۷۱	۷۰/۷۲	۰/۸۷	۰/۶۰
فسا	۱۹/۴۴	۱۵/۵۲	۰/۷۹	۵/۲۹	۵۸/۲۳	۱/۲۶	-۰/۷۴
اقلید	۱۹/۶۶	۱۱/۳۲	۰/۵۷	۴/۸۰	۴۳/۶۷	۰/۸۷	-۰/۰۷
ایزدخواست	۸/۶۷	۶/۶۵	۰/۷۶	۱/۳۲	۲۵/۳۵	۱/۱۶	-۰/۹۷
لامرد	۱۸/۱۲	۱۶/۳۷	۰/۸۹	۲/۳۴	۶۴/۴۱	۲/۱۵	۴/۱۳
تخت جمشید	۲۳/۷۱	۱۹/۲۳	۰/۸۱	۱۰/۲۴	۷۰/۵۶	۱/۹۶	۲/۶۳
زرقان	۲۲/۲۰	۱۵/۵۵	۰/۷	۷/۲۳	۶۶/۷۸	۲/۰۷	۳/۷۴
لار	۱۲/۳۰	۸/۸۳	۰/۷۱	۲/۱۶	۴۴/۳۸	۲/۳۴	۸/۱۴

ادامه جدول ۲

ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
داراب	۲۱/۰۶	۱۷/۹۲	۰/۸۵	۳/۰۷	۷۶/۷۸	۱/۸۰	۳/۶۴
نیریز	۱۱/۹۲	۱۰/۷۹	۰/۹	۳/۲۱	۴۱/۱۹	۱/۸۳	۲/۷۹
استهبان	۱۱/۹۹	۱۱/۷۳	۰/۹۷	۰/۲۸	۴۴/۶۲	۲/۳۸	۶/۴۸
بوانات	۱۲/۶۱	۹/۵۸	۰/۷۵	۳/۶۱	۱۴/۷۶	۲/۵۴	۷/۴۸
میبد	۵/۸۷	۲/۹۲	۰/۴۹	۲/۸۸	۱۰/۹۹	۰/۹۳	-۰/۴۸
ابركوه	۵/۰۳	۲/۴۷	۰/۴۹	۲/۳۵	۱۱/۱۳	۱/۵۱	۲/۶۵
عقدا	۶/۲۸	۲/۴۹	۰/۳۹	۲/۷۱	۱۰/۳۹	۰/۳۷	-۰/۲۷۷
مروست	۴/۰۴	۳/۲۲	۰/۷۹	۰/۲۱	۹/۶۶	۰/۷۴	-۰/۴۹۲
مهریز	۴/۶۳	۲/۳۸	۰/۵۱	۱/۵۶	۹/۲۵	۰/۵۳	-۰/۰۹۷
گاریز	۹/۳۲	۶/۳۸	۰/۶۷	۲/۸۴	۲۰/۰۵	۰/۸۱	-۱/۰۲۰
هرات	۵/۸۶	۴/۶۲	۰/۷۸	۱/۸۶	۱۳/۹۷	۱/۱۱	-۰/۲۷۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

به‌دست‌آمده از آن، ارتباط بین ضریب فرساینده‌گی و شاخص‌های سهل‌الوصول را نشان داد. در مرحله‌ی بعد، با محاسبه ضریب فرساینده‌گی، اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی این شاخص در استان شد. برای تبدیل شاخص‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها به اطلاعات ناحیه‌ای از نرم‌افزار GIS با به‌کارگیری روش‌های میان‌یابی مختلف، استفاده شد. برای این منظور از روش‌های مختلف درون‌یابی مکانی استفاده می‌شود تا از طریق روندی مشخص، مقدار در نقطه مجهول با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده محاسبه شود. درون‌یابی مکانی اصولاً بر اساس تشابه نقاط نزدیک به هم استوار است و بنابراین نقاط مجاور تأثیر بیشتری در تعیین مقدار نقطه‌ی مجهول دارد.

(Abdul- Rahman & Pilouk, 2008:102).

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، بطوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. معادلات محاسبه آنها به قرار زیر است:

به‌منظور برقراری روابط رگرسیونی بین شاخص‌های مبتنی بر مقدار و ضریب فرساینده‌گی، اقدام به محاسبه مقادیر R در ایستگاه سینوپتیک شیراز که در مرکز استان فارس است، شد. از آنجا که داده‌های باران‌نگار به‌راحتی در اختیار قرار نمی‌گیرند و محاسبه‌ی آنها نیز وقت‌گیر و مشکل است این ایستگاه به عنوان مینا قرار گرفت. به‌منظور به دست آوردن شاخص R (EI_{30}) به عنوان شاخص مبتنی بر شدت، از داده‌های ده دقیقه‌ای بارندگی استفاده شد. جهت محاسبه ضریب فرساینده‌گی از معادله ویشمایر و اسمیت استفاده گردید که در ابتدا انرژی جنبشی هر واقعه رگبار را به دست آورده و سپس حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای هر یک از باران‌های مورد نظر و همچنین مقدار R هریک از باران‌های فوق به دست آمد. از مجموع باران‌های موجود در یک روز، ماه، سال به ترتیب R روزانه، R ماهانه و R سالانه به دست آمد. این محاسبات جهت بررسی ارتباط بین ضریب فرساینده‌گی و شاخص‌های سهل‌الوصول از جمله شاخص‌های فورنیه، فورنیه اصلاح‌شده، سیاسی و IAS صورت گرفت. در مرحله آخر ارتباط بین مقادیر R (تن متر بر هکتار ساعت) به‌دست‌آمده با شاخص‌های مبتنی بر مقدار در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و معادلات

نتایج و بحث

با توجه به معادله حاصل از همبستگی بین R و شاخص‌های مبتنی بر مقدار و مقادیر ضریب تبیین حاصل شده در جدول (۳)، میزان همبستگی بین ضریب فرساینده‌گی (R) و شاخص فورنیه بالاتر از بقیه روابط رگرسیونی به دست آمده می‌باشد. در نتیجه این رابطه به دیگر ایستگاه‌ها تعمیم داده شد، زیرا داده‌های باران‌نگار در بیشتر ایستگاه‌ها وجود ندارد و در حال حاضر با برقراری رابطه حاصل می‌توان مقدار R را در این ایستگاه‌ها تخمین زد. آماره توصیفی مقادیر ضریب فرساینده‌گی در دوره آماری ده‌ساله در جدول (۴) آورده شده است.

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

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

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

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

که در آن‌ها:

n: تعداد نقاط مشاهده‌ای

Z_{ei} : مقدار برآوردی بر نقطه آ ام

Z_{mi} : مقدار مشاهده‌ای برای نقطه آ ام

\bar{Z}_{mi} : میانگین مقادیر مشاهده‌ای

جدول ۳: روابط R و شاخص‌های مبتنی بر مقدار

ضریب تبیین	معادله	R و شاخص
$R^2=0/8$	$RyR=1/34 F^2-37/4 F+286/4$	R سالانه و فورنیه
$R^2=0/2$	$RyR=-0/15 MF^2+6/3$	R سالانه و فورنیه اصلاح شده
$R^2=0/34$	$RyR=-24/4 ci^2 + 114/3 ci - 22/4$	R سالانه و سیاسی
$R^2=0/45$	$RyR=184e - 0/08 x$	R سالانه و IAS

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

جدول ۴: آماره توصیفی شاخص R برای برخی از ایستگاه‌ها

ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حد اقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
شیراز	۳۲۷/۰۳	۸۸۴/۲۲	۲/۷	۲۵/۹۹	۲۸۴۱/۷۷	۳/۱۵	۹/۶۹
آباد	۷۳/۲۳	۴۴/۳۸	۰/۶	۲۵/۵۱	۱۶۹/۱۲	۱/۰۹	۱/۱۵
سدودوزن	۴۸۲/۲۷	۶۷۱/۲۹	۱/۳۹	۳۴/۱۸	۲۲۱۷/۳۸	۲/۲۶	۵/۵۹
فسا	۴۵۵/۸۳	۸۱۹/۹۵	۱/۷۹	۳۱/۰۴	۲۶۴۸/۶۲	۲/۶۳	۷/۱۲
اقلید	۱۸۲/۴۵	۳۰۱/۸۵	۱/۶۵	۲۵/۸۳	۱۰۲۷/۴	۲/۹۷	۹/۱۱
ایزدخواست	۱۲۱/۲۴	۷۵/۰۷	۰/۶۱	۲۹/۱	۲۴۰/۰۴	۰/۳۶	-۱/۵
لامرد	۷۱۵/۶۲	۱۲۸۶/۹۵	۱/۷۹	۲۵/۴۶	۳۴۳۵/۳	۱/۸۱	۱/۷۳
تخت جمشید	۴۶۳/۲۷	۱۳۵۱/۵۵	۲/۹۱	۲۷/۵۱	۴۳۰۹/۸۳	۳/۱۶	۹/۹۹
زرقان	۴۱۳/۴۷	۱۱۷۳/۶۴	۲/۸۳	۲۵/۴۴	۳۷۵۳/۳۳	۳/۱۶	۹/۹۹
لار	۲۱۲	۳۷۵/۲۱	۱/۷۶	۲۵/۴۴	۱۲۵۹/۳۱	۲/۹۴	۸/۹۶
داراب	۶۷۰/۷۳	۱۶۳۷/۵۸	۲/۴۴	۲۸/۶۳	۵۳۰۰/۸۹	۳/۰۸	۹/۶۳
نیروز	۱۸۸/۶۹	۲۹۴/۲۷	۱/۵۵	۲۵/۵۱	۱۰۱۲/۸	۲/۹۷	۹/۱۴
بیوانات	۱۷۱/۸۴	۳۱۴/۱۶	۱/۸۲	۲۷/۵۱	۱۰۵۶/۹۳	۳/۰۴	۹/۴۴
استهبان	۲۱۵/۱۸	۳۸۲/۵۳	۱/۷۷	۳۱/۰۹	۱۲۸۳/۸۳	۲/۶۹	۸/۹۹
نورآباد	۷۸۸/۲۶	۱۳۵۳/۹۹	۱/۴۹	۲۵/۵۹	۴۲۴۲/۱۹	۲/۲۶	۵/۱۱
فراشند	۲۲۷/۴۸	۴۸۳/۶۳	۱۲/۲	۳۱/۶۹	۱۵۸۸/۹	۳/۰۴	۳/۳۹
قیر و کارزین	۳۲۲/۲۷	۵۴۳/۲۹	۱/۶۸	۲۵/۷۲	۱۵۷۲/۷	۱/۹۵	۲/۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

چند ربعی، نواری با کشش و نواری با ضخامت کم استفاده شد. سپس جهت انتخاب بهترین روش میان‌یابی، از معیارهای خطای RMSE، MAE، MBE و R استفاده گردید. با اعمال روش‌های میان‌یابی ذکر شده بر اساس معیار خطای RMSE کمتر و R بالاتر روش تابع پایه شعاعی با مدل نواری کاملاً منظم برای پهنه‌بندی فاکتور R مناسب بود.

برای ترسیم نقشه‌ی پهنه‌بندی ضریب فرسایندگی (R) از انواع روش‌های میان‌یابی از جمله کریجینگ ساده و معمولی با مدل‌های دایره‌ای و کروی، نمایی، گوسن و چهاروجهی، پنج وجهی و درجه دوم منطقی، اثر قطعه‌ای، K-bessel، J-bessel و ثابت و روش‌های معین عکس فاصله، تخمین‌گر عام و تخمین‌گر موضعی با توان‌های وزن‌دهی یک تا پنج و تابع شعاعی با مدل‌های توابع نواری کاملاً منظم، چندربعی معکوس،

جدول ۵: مقادیر آماره‌ای ارزیابی در روش‌های IDW، GPI و LPI

روش	توان	R	MAE	MBE	RMSE
IDW	۱	۰/۵۲	۳۲/۳۲	۰/۱۷	۱۷۹/۴
	۲	۰/۶۲	۲۴/۳۸	۰/۶۷	۱۸۳/۱
	۳	۰/۵۸	۱۴/۸۶	۰/۷۹	۱۷۸/۸
	۴	۰/۳۴	۲۰/۲۲	۰/۲۶	۱۹۰/۴
	۵	۰/۷۱	۱۶/۵۶	۰/۱۶	۱۹۳
LPI	۱	۰/۶۴	۱۲/۴۶	۰/۳۲	۱۸۱/۲
	۲	۰/۵۸	۲۷/۶۱	۰/۴۳	۲۶۰/۵
	۳	-۰/۵۵	۱۶/۲	۰/۳۶	۱۹۶/۴
	۴	---	---	---	---
	۵	---	---	---	---
GPI	۱	۰/۵۶	۱۱/۵	-۱/۱	۱۷۶/۳
	۲	۰/۶۱	۱۲/۷	۱/۳	۱۸۶/۹
	۳	۰/۷۱	۱۴/۳	-۱/۶	۲۰۰/۲
	۴	۰/۵۳	۱۶/۴	۲/۳	۲۳۳
	۵	---	---	---	---

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

جدول ۶: مقادیر آماره‌ای ارزیابی در روش RBF

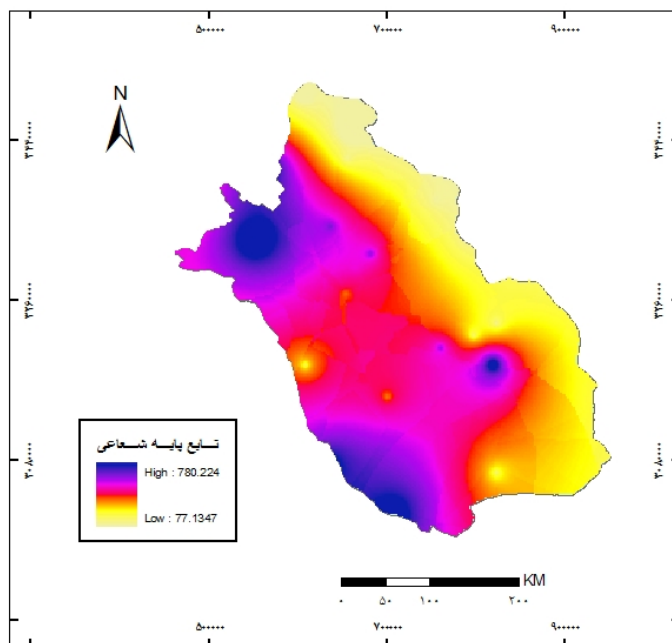
روش	R	MAE	MBE	RMSE
Completely Regularized spline	۰/۸۸	۱۳/۷	۰/۰۲۳	۱۷۶/۱
Spline with Tension	۰/۵۰	۱۱/۴۹	۰/۷۸	۱۷۷/۱
Multiquidic	۰/۵۶	۶/۸۷	۰/۰۸	۱۹۳
Invers Multiquidic	۰/۴۴	۷/۶۹	۰/۳۲	۱۸۱/۲
Thine plate Spline	---	---	---	---

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

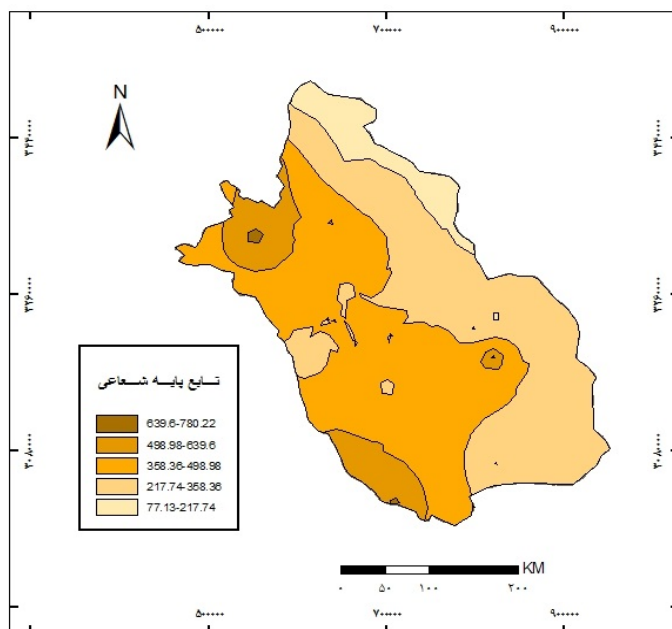
جدول ۷: مقادیر آماره‌ای ارزیابی در روش کریجینگ معمولی و ساده

R	MBE	MAE	RMSE	رابطه	روش
۰/۵۴	-۱/۲۴	۱۱/۴۲	۱۷۷/۸	Circular	-
۰/۵۴	-۱/۲۶	۱۱/۴۲	۱۷۷/۹	spherical	-
۰/۵۴	-۱/۳۵	۱۱/۴	۱۷۷/۶	Tetraspherical	-
۰/۵۴	-۱/۲۵	۱۱/۴۲	۱۷۷/۹	Pentaspherical	کریجینگ معمولی
۰/۵۵	-۱/۴۴	۱۱/۱	۱۷۹/۳	Exponential	-
۰/۵۳	-۱/۲۲	۱۱/۱۲	۱۷۷/۳	Gaussian	-
۰/۵۵	-۱/۱۱	۱۰/۶۱	۱۷۸/۴	Rational Quadratic	-
۰/۵۰	-۰/۴۷	۱۱/۹	۱۷۶/۳	Hole Effect	-
۰/۵۵	-۱/۴۳	۱۱/۱۲	۱۷۸/۴	K-Bessel	-
۰/۵۳	-۱/۱۲	۱۱/۸	۱۷۷/۴	J-Bessel	-
۰/۵۴	-۱/۴۳	۱۰/۹۶	۱۷۹	Stable	-
۰/۵۱	۲/۱۸	۱۱/۳۲	۱۷۷/۲	Circular	-
۰/۵۳	۱/۵۴	۱۱/۳۳	۱۷۸/۳	spherical	-
۰/۵۴	-۰/۵۶	۱۱/۴۵	۱۸۰	Tetraspherical	-
۰/۵۴	۱/۰۴	۱۱/۳۴	۱۷۹/۲	Pentaspherical	-
۰/۵۵	-۰/۳۴	۱۱/۶۴	۱۸۱/۹	Exponential	کریجینگ ساده
۰/۵۴	۱/۵۶	۱۱/۱	۱۷۹/۳	Gaussian	-
۰/۵۴	۱/۳۲	۱۰/۹۵	۱۷۹	Rational Quadratic	-
۰/۵۳	۱/۱۸	۱۱/۹	۱۷۷/۴	Hole Effect	-
۰/۵۴	۱/۲۴	۱۱/۱۵	۱۷۷/۳	K-Bessel	-
۰/۵۲	۱/۲۲	۱۰/۸۴	۱۷۸/۹	J-Bessel	-
۰/۵۳	۱/۰۵	۱۰/۹۴	۱۷۸/۷	Stable	-

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۳: پهنه‌بندی ضریب فرساینده‌گی باران با روش تابع پایه شعاعی
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۴: نقشه وضعیت ضریب فرساینده‌گی باران R (تن متر بر هکتار ساعت) در استان فارس
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

جدول ۸: وضعیت فاکتور فرسایندهی باران (R) در استان فارس

طبقه	دامنه طبقات	وضعیت فرسایندهی	مساحت (km ²)	درصد مساحت
۱	۷۷/۱۳-۲۱۷/۷۴	بسیار کم	۸۵۹۶/۱۹	۶
۲	۲۱۷/۷۴-۳۵۸/۳۶	کم	۴۸۱۳۸/۶۵	۳۹
۳	۳۵۸/۳۶-۴۹۸/۹۸	متوسط	۵۴۰۵۱/۳۲	۴۴
۴	۴۹۸/۹۸-۶۳۹/۶	زیاد	۱۱۴۵۶/۸۲	۱۰
۵	۶۳۹/۶-۷۸۰/۲۲	خیلی زیاد	۲۳۷/۴۴	۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

نتیجه

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز رگرسیونی میان ضریب فرسایندهی (R) و شاخص‌های مبتنی بر مقدار، شاخص فورنیه با ضریب تبیین ۰/۸۰ در معادله حاصل قرار گرفت و رابطه به دست آمده به منظور تخمین ضریب فرسایندهی در ایستگاه‌های فاقد آمار باران‌نگار تعمیم داده شد. سپس با مقادیر تخمین‌زده شده R که مقدار متوسط آن ۳۵۱/۵۴ و حداقل تا حداکثر از ۷۷/۱۳ تا ۷۸۰/۲۲ تغییر می‌کند، اقدام به تهیه نقشه‌ی وضعیت فرسایندهی باران شد (طبقه‌بندی نقشه‌ی فرسایندهی باران بر اساس دامنه‌ی تغییرات اعداد ضریب فرسایندهی باران می‌باشد، شکل (۳)). مشابه این تحقیق، می‌توان به مطالعات حکیم‌خانی و حکیم‌خانی (۱۳۸۸) اشاره کرد که در استان لرستان، با استفاده از شاخص فرسایندهی EI₃₀ نقشه‌ی فرسایندهی باران را تهیه کردند. به منظور برآورد شاخص یاد شده برای مناطق فاقد داده‌های باران‌نگار از تحلیل رگرسیونی استفاده و مناسب‌ترین رابطه رگرسیونی را بر مبنای متغیر شاخص فورنیه اصلاح شده به دست آوردند. همچنین با تحقیق خرسندی و همکاران (۱۳۹۲)، که بر اساس شاخص فورنیه اصلاح شده، مقادیر ضریب فرسایندهی را برای ایستگاه‌های فاقد آمار تعیین کردند، همخوانی دارد.

شکل (۴)، میزان فاکتور فرسایندهی باران را در استان فارس نشان می‌دهد که بر اساس نقشه ضریب فرسایندهی باران بیشترین میزان در قسمت مرکزی ناحیه‌ی شمال فارس و کمترین مقدار آن از ناحیه‌ی شرق تا شمال‌شرق می‌باشد. با توجه به اینکه پارامترهای مؤثر در ضریب فرسایندهی باران، شدت بارندگی و انرژی جنبشی باران هستند که خود تحت تأثیر پوشش گیاهی، مدت و زمان بارندگی و ارتفاع از سطح دریا است، به نظر می‌رسد دلیل تفاوت منطقه‌ای فرسایندهی استان فارس، اقلیم منطقه (ناحیه خشک و نیمه‌خشک) باشد که از ویژگی‌های مشخص این مناطق شدت بارندگی زیاد در مدت کم و عدم پوشش گیاهی کافی است. با توجه به میزان متوسط شاخص فرسایندهی، حدود ۱۴/۵ تن در هکتار میزات تلفات خاک در استان فارس برآورد می‌گردد. همچنین بر اساس مساحت مربوط به هر طبقه ضریب فرسایندهی، ۴۴ درصد از منطقه دارای فرسایندهی باران متوسط، ۳۹ درصد از مساحت استان در طبقه فرسایندهی کم و یک درصد در وضعیت فرسایندهی خیلی زیاد قرار گرفته است. با توجه به نقشه‌ی ترسیم شده، اجرای اقدامات حفاظتی خاک برای کنترل فرسایندهی باران در این نواحی ضروری می‌باشد.

منابع

- اسلامی، حسین؛ علی لاجقه؛ شهرام خلیقی سیگارودی؛ حسن احمدی؛ شمس‌الله ایوبی (۱۳۹۳). بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های فرساینده گی باران با استفاده از زمین‌آمار در استان خوزستان، مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۷، شماره ۳، صفحات ۴۰۶-۳۹۳.
- حکیم‌خانی، شاهرخ؛ محمدحسین مهدیان؛ محمود عرب‌خردی (۱۳۸۶). تهیه نقشه فرساینده گی باران برای حوضه دریاچه نمک، نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره ۶۰، شماره ۳، صفحات ۷۲۶-۷۱۳.
- حکیم‌خانی، شاهرخ؛ ایرج حکیم‌خانی (۱۳۸۸). تهیه نقشه فرساینده گی باران برای استان لرستان، مجله پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۸۹، صفحات ۷۲-۶۲.
- خرسندی، نازیلا؛ محمدحسین مهدیان؛ ابراهیم پذیرا و داوود نیک‌نامی (۱۳۹۲). تعیین شاخص مناسب فرساینده گی باران در دو اقلیم نیمه‌خشک و خیلی مرطوب حوزه آبخیز خزر، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد ۱۵، شماره ۵۶، صفحات ۱۲۶-۱۱۷.
- شعبانی، محمد (۱۳۹۰). ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه فرساینده گی باران در استان فارس. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۳، شماره ۳، صفحات ۱۷۶-۱۶۸.
- شعبانی، افشین؛ حمیدرضا متین‌فر؛ صالح آرخی؛ سعید رحیمی‌هرآبادی (۱۳۹۰). مدلینگ فاکتور فرساینده گی باران با استفاده از روش زمین‌آمار (مطالعه موردی: سد ایلام)، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، دوره ۲، شماره ۲، صفحات ۶۷-۵۵.
- علیزاده، امین (۱۳۶۵). فرسایش و حفاظت خاک (ترجمه)، انتشارات آستان قدی رضوی.
- غلامی، حمید؛ حسن فتحی‌زاد؛ عطا صفری؛ مهدی بی‌نیاز (۱۳۹۴). برآورد فاکتور فرساینده گی باران با استفاده از الگوریتم‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان ایلام)، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۲۰، شماره ۴، صفحات ۱۶-۱.
- کاویان، عطاء‌الله؛ زینب جعفریان؛ افشین جهانشاهی؛ محمد گلشن (۱۳۹۵). نقشه‌بندی فرساینده گی باران در استان کرمان با روش‌های زمین‌آمار، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۱، صفحات ۶۸-۵۱.
- موسوی‌کیاسری، الهه؛ داوود نیک‌نامی؛ محمدحسین مهدیان؛ ابراهیم پذیرا (۱۳۹۲). تعیین شاخص مناسب فرساینده گی باران با استفاده از کرت‌های فرسایش خاک در استان سمنان، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۰، شماره ۵، صفحات ۳۹-۲۱.
- نیک‌نامی، داوود (۱۳۹۱). بررسی و تعیین مناسب‌ترین شاخص فرساینده گی باران در مناطق مختلف ایران (تهران)، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- نیک‌نامی، داوود؛ محمدحسین مهدیان (۱۳۹۳). تهیه نقشه شاخص مناسب فرساینده گی باران کشور، نشریه علمی پژوهشی مهندسی مدیریت آبخیز، دوره ۶، شماره ۴، صفحات ۳۷۶-۳۶۴.
- Arnoldus, H. M. J (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soils loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin* 34. PP: 39-51.
- Abdul-Rahman, A. and Pilouk, M (2008). *Spatial Data Modelling for 3D GIS*. USA, Springer.
- Hudson, N(1995). *Soil conservation*, 3rd Edition. Iowa state university Press. 391P.
- Irvem, A. Topaloglu, F. and Uygur, V (2007). Estimating spatial distribution of soil over Seyhan Rivre Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*. 336: 30-37.

-
- Panagos, P. Ballabio, C. and Borrelli, P (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Journal Science of the Total Environment*. 1(8): 801-814.
 - Renard, K.G. and Foster, J (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Hand book No.703*.
 - Silva, A. M (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* 57: 251-259.
 - Zisheng, Y. Longfei, Y. and Bosheny, Z (2010). Soil erosion and its basic characteristics at karst rocky decertified land consolidation area: A case study at Muzhu Village of Xichou County in Southeast Yunnan, China. *Journal of Mountain Science*, 7: 55-72.
 - Kouli, M. Soupios, P. and Vallianatos, F (2009). Soil erosion prediction using the RUSLE in a GIS framework. Chania, Northwestern Crete. Greece. *Journal of Environment Geology*.57: 483-497.
 - Lal, R (1994). *Soil erosion research methods*. CRC Press.
 - Lee, J. H. and Heo, J. H (2011). Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of hydrology*. 7(31): 30-48.
 - Meusbürger, K. and Alwell, C (2008). Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslids in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland), *Natural Hazards and Earth System Science*, 8(3): 509-520.
 - Mousavi Kiassari, E. Nikkani, D. Mahdian, M.H. and Pazira, E (2012). Investigating rainfall erosivity indices in arid and semi-arid climates of Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 36(3): 365-378.