

کشور را به پنج منطقه از نظر فرساینده‌گی باران تقسیم‌بندی نمود و مناطق نیمه‌خشک بالاترین فرساینده‌گی باران را دارند. هم‌چنین این مناطق دارای روند افزایشی عامل فرساینده‌گی هستند.

واژه‌های کلیدی: زمین آمار، واریوگرام، میان‌یابی.

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء تشکیل‌دهنده منابع طبیعی می‌باشد. فرسایش خاک در شرایط موجود خطری برای ادامه حیات انسان به‌شمار می‌رود. عامل فرساینده‌گی باران در معادله جهانی فرسایش به‌عنوان یک شاخص کمی از توان باران در فرسایش خاک استفاده می‌شود [۲۴].

عامل فرساینده‌گی باران، نیروی محرکه یا توان عوامل فرسایش در جداسازی و انتقال ذرات خاک در ارتباط با فرسایش آبی است [۲۱]. فرسایش بارانی موجب هدر رفت خاک، آسیب به کشاورزی و زیربنای می‌شود و آلودگی آب را به دنبال دارد. تغییرات در الگوهای بارش خطر فرسایش در سرتاسر جهان را تشدید می‌کند [۷، ۳۶]. به دنبال فرساینده‌گی باران انواع فرسایش آبی صورت می‌گیرد که نه تنها باعث از بین رفتن خاک به منزله ثروتی طبیعی می‌شود، بلکه مشکلات دیگری را نیز در پی خواهد داشت که پر شدن مخازن سدها، کانال‌ها، آلودگی آب و تغییرات اکولوژیکی بخش کوچکی از مشکلات شناخته شده بشر است. با توجه به مشکلات یاد شده، بررسی جنبه‌های مختلف فرسایش آبی ضروری به نظر می‌رسد [۷]. اگر سایر خصوصیات مؤثر بر فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان تلفات خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده‌گی باران خواهد بود. این عامل معمولاً در قالب شاخص‌های فرساینده‌گی به‌عنوان یکی بر خصوصیات بارندگی هستند بیان می‌شود [۱۵]. شاخص‌های فرساینده‌گی باران را در کل می‌توان در دو گروه تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از: گروه اول شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و گروه دوم شاخص‌های مبتنی بر آمار که مقبولیت جهانی دارند. در گروه اول می‌توان به شاخص ویشمایر- اسمیت، شاخص هادسون و شاخص اونچو و از شاخص‌های گروه دوم می‌توان به شاخص‌های فورنیه، مورگان، فورنیه اصلاح شده و رز اشاره کرد [۳۵]. از مشکلات شاخص‌های مبتنی بر آمار جنبشی و شدت بارندگی این است که به آمار بیش از ۲۰ سال و شدت بارندگی با فواصل کوتاه‌مدت و ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به

تحلیل مکانی و زمانی فرساینده‌گی باران در ایران طی شش دهه گذشته

مینا اقتدارنژاد^۱ و ام‌البین بذرافشان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۱۱

چکیده

فرساینده‌گی باران معمولاً در قالب شاخص‌های فرساینده‌گی مبتنی بر خصوصیات بارندگی بیان می‌شود. تاکنون شاخص‌های مختلفی ارائه شده‌اند که از میان آن‌ها عامل فرساینده‌گی باران (R) در معادله جهانی هدررفت خاک (RUSLE) از مقبولیت بیشتری در دنیا برخوردار است. هدف از تحقیق حاضر، محاسبه و مدل‌سازی عامل فرساینده‌گی باران در کشور با استفاده از داده‌های ۲۷ ایستگاه سینوپتیک طی ۶۴ سال آماری ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۳ با روش‌های میان‌یابی و تحلیل زمانی روند آن با آزمون من-کندال می‌باشد. با مرور مطالعات و تحقیقات انجام شده در سطح جهان و با توجه به محدود بودن ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار و برخی عوامل دیگر، شاخص فورنیه اصلاح شده که براساس آمار بارندگی ماهانه قابل محاسبه است، مورد استفاده قرار گرفت پس از محاسبه عامل فرساینده‌گی باران برای ایستگاه‌های مورد نظر، نقشه فرساینده‌گی باران ترسیم گردید و برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های فرساینده‌گی باران از ترسیم نیم‌تغییرنما با نرم افزار GS+ استفاده گردید که واریوگرام خطی با میزان صفر بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرد. هم‌چنین، برای بررسی میزان عامل فرساینده‌گی باران از روش‌های میان‌یابی روش عکس فاصله، میان‌یابی چند جمله‌ای جهانی، میان‌یابی موضعی و کریجینگ استفاده شده و برای انتخاب بهترین روش میان‌یابی از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا استفاده شد. نتایج نشان داد که روش کریجینگ با ریشه میانگین مربعات خطا برابر با ۲۸/۹۴ و میانگین قدر مطلق خطا برابر با ۲۰/۹۶ بهترین روش می‌باشد. بر این اساس، می‌توان

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران و نویسنده مسئول؛

Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

باران‌نگار نیاز دارد. به دلیل این‌که چنین آماری در بیشتر نقاط دنیا به خصوص برای دوره‌های زمانی طولانی مدت وجود ندارد و فرآیند محاسبه آن وقت‌گیر و مشکل است از این رو محققان از شاخص‌های سهل‌الوصول مانند شاخص فورنیه استفاده می‌کنند [۳۹].

تعیین مناسب‌ترین روش‌های میان‌یابی در سطح یک منطقه و چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، امری ضروری می‌باشد. روش‌های مختلفی برای برآورد و تخمین متغیرها وجود دارد که به‌عنوان نمونه می‌توان به روش‌های کلاسیک، نظیر تیسن و میانگین حسابی اشاره کرد. این روش‌ها گرچه همگی از نظر محاسبات سریع و آسان هستند، ولی به دلایلی از جمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین آن‌ها از دقت خوبی برخوردار نمی‌باشند [۲۲]. روش‌های دیگری نیز وجود دارد که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار هستند که از آن جمله روش زمین‌آمار می‌باشد [۴۰]. در زمین‌آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار مکانی، تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد [۲۲]. البته ممکن است نمونه‌های مجاور با فاصله معینی در قالب ساختار مکانی به هم وابسته باشند، در این حالت بدیهی است که میزان تشابه بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیشتر است [۴۲]. زیرا در صورت وجود ساختار مکانی، تغییرات ایجاد شده در یک فضای معین شانس بیشتری برای تأثیرگذاری روی فضاهای نزدیک به خود را نسبت به فضاهای دورتر از خود دارند. تعمیم داده‌های نقطه‌ای به سطح از دیرباز مورد توجه متخصصان و کارشناسان علوم زمین بوده است روش مجدور عکس فاصله را بهترین روش برای برآورد فرسایندهای باران در جزیره نورفولک استرالیا معرفی نموده اند [۴۵]. محققین با کاربرد روش کریجینگ در تخمین میانگین بارندگی سالانه در شمال شرقی آمریکا، نشان داده اند که با دقت اطمینان ۹۵ درصد می‌توان از این روش جهت میان‌یابی بارش استفاده نمود [۹]. محققین در ایران [۴۶] به بررسی فرسایندهای باران در ایران در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه طی دوره آماری ۲۰ ساله می‌پردازد. نتایج نشان داد، در شمال و جنوب غرب ایران مقدار فرسایندهای بالا و در غرب و جنوب‌شرق کمتر است. گوارتز [۱۴] با انجام پژوهش روی نقش میان‌یابی بارش و دما در پرتقال در برآورد آمار بارندگی سالانه نشان داد روش کریجینگ بهترین روش برآورد آن است. محققین در محاسبه شاخص فرسایندهای باران با استفاده از زمین‌آمار در استان همدان چنین گزارش نمودند روش کریجینگ معمولی درجه دوم نسبت به روش کریجینگ معمولی درجه صفر و یک عملکرد بهتری داشته و هم‌چنین واریوگرام برازش داده گوسین عملکرد بهتری از واریوگرام کروی و نمایی داشته است [۳۱]. در تحقیقی دیگر، محققین با استفاده از روش‌های فورنیه و فورنیه اصلاح شده به

برآورد فرسایندهای سالانه بارش در کشور آفریقا پرداخته و میانگین فرسایندهای بارش را تخمین زدند [۴۵]. محققین در کشور اردن، با استفاده از شاخص فورنیه به پهنه‌بندی قدرت فرسایندهای باران پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد، میزان فرسایندهای در شمال‌غرب اردن بیشتر از شمال‌شرق است [۱۱].

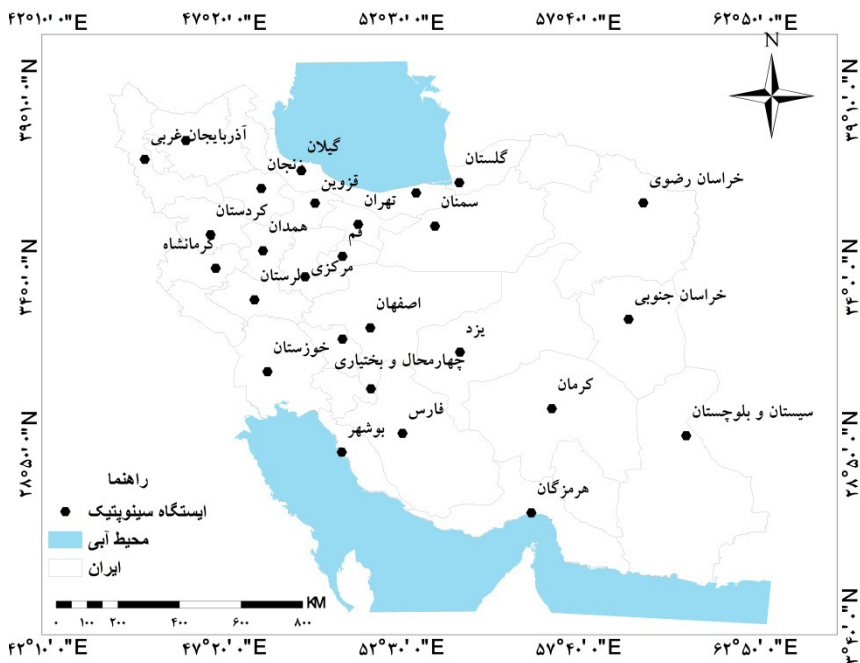
در ایران نیز محققین مختلفی به تخمین فرسایندهای باران پرداختند که می‌توان به مطالعات استانی در استان اصفهان [۱۳]، در استان خراسان شمالی [۶]، دریاچه نمک [۲] و در مقیاس ملی [۱۷، ۳۵ و ۳۶] اشاره نمود. مطالعات فوق، روش کریجینگ را بهترین روش میان‌یابی معرفی نمودند.

با استفاده از روش کریجینگ تغییرات منطقه‌ای بارندگی را در ایران مورد بررسی قرار داده‌اند [۴۱]. از تخمین‌گرهای زمین‌آمار برای ایجاد شبکه‌ی پهنه پایش تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت چمچمال استفاده کرده اند. برای تهیه نقشه هم‌دمای ایران، روش کریجینگ معمولی را برای میان‌یابی فاکتورهای هیدرواقليمی مناسب ارزیابی کرده‌اند. محققین [۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸] در پژوهشی به ارزیابی شبکه مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار پرداخته‌اند، که مدل واریوگرام گوسی، بهترین مدل واریوگرام برای این داده‌ها بوده است.

بررسی منابع مختلف در کشور نشان می‌دهد، تحقیقی که به بررسی فاکتور فرسایندهای کل کشور بصورت زمانی و مکانی در مقیاس سالانه طی شش دهه گذشته بپردازد، کمتر دیده شده است. عموم تحقیقات انجام شده یا در مقیاس زمانی کوتاه مدت بوده و یا در مقیاس مکانی، یک یا چند استان را بررسی نموده‌اند. از طرفی پهنه‌بندی نقاط اقلیمی مختلف کشور از نظر فاکتور فرسایندهای باران و تحلیل روند زمانی آن صورت نگرفته، که این مهم می‌تواند امر مفیدی در برنامه‌ریز جامع و مدیریت منابع حوزه آبخیز به‌شمار رود. از این رو، هدف از تحقیق حاضر تحلیل فضایی عامل فرسایندهای باران با استفاده از داده‌های ۲۷ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری طولانی در کشور طی شش دهه گذشته، انتخاب مناسب‌ترین روش برای میان‌یابی عامل فرسایندهای باران و پهنه‌بندی ایران از نظر این عامل و تحلیل روند آن با آزمون ناپارامتری من-کندال است.

منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر آمار بارش برای دوره آماری ۶۴ ساله ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۳ برای ۲۷ ایستگاه سینوپتیک ایران، که دارای طولانی‌ترین دوره آماری بین تمام ایستگاه‌ها بودند، از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید [۲۷]. قبل از شروع تحلیل‌ها، نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلکس و صحت و همگنی داده‌ها با آزمون ران بررسی شد [۴۳] طبقه‌بندی اقلیمی با روش دومارتن انجام شد (جدول ۱). موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲ و شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱. طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب دومارتن
خشک	$I < 1$
نیمه خشک	$10 < I < 19/9$
مدیترانه‌ای	$20 < I < 23/9$
نیمه مرطوب	$24 < I < 27/9$
مرطوب	$28 < I < 34/9$
بسیار مرطوب	$I > 35$

جدول ۲. ویژگی‌های جغرافیایی و آماری ایستگاه‌های مورد بررسی دوره ۶۴ [۱۰]

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین دمای سالانه	میانگین بارش سالانه	شاخص دومارتن	اقلیم
اراک	۴۶°۴۹'	۳۴°۰۶'	۱۷۰۸	۱۰	۲۹۰	۱۴/۵	مرطوب
ارومیه	۴۵°۰۰'	۳۷°۴۰'	۱۳۳۸	۱۱	۳۳۸	۱۶/۰۹	نیمه خشک
اصفهان	۵۱°۴۰'	۳۲°۳۷'	۱۵۵۰/۴	۱۶	۱۲۵	۴/۸۰	خشک
اهواز	۴۸°۴۰'	۳۱°۲۰'	۲۲/۵	۲۵	۲۰۹	۵/۹۷	خشک
بندرعباس	۵۶°۲۲'	۲۷°۱۳'	۹/۸	۲۷	۱۷۶	۴/۷۵	خشک
بوشهر	۵۰°۵۰'	۲۸°۵۹'	۱۹/۶	۲۴	۲۷۵	۸/۰۸	خشک
بیرجند	۵۹°۱۲'	۳۲°۵۲'	۱۴۹۱	۱۷	۱۲۷	۴/۷۰	خشک
تبریز	۴۶°۲۰'	۳۸°۵۰'	۱۴۰۷/۲	۱۲	۲۸۳	۱۲/۸۶	نیمه خشک
تهران	۵۱°۳۰'	۳۵°۴۴'	۱۱۳۲/۶	۱۷	۲۳۲	۸/۵۹	خشک
خرم‌آباد	۴۸°۱۷'	۲۶°۳۳'	۱۱۴۷/۸	۱۷	۵۰۴	۱۸/۶۶	نیمه خشک
زاهدان	۶۰°۵۳'	۲۹°۲۸'	۱۳۷۰	۱۹	۱۰۸	۳/۷۲	خشک
زنجان	۴۷°۴۷'	۳۷°۰۸'	۱۸۲۴/۲	۱۱	۳۲۰	۱۵/۲۳	نیمه خشک
رشت	۴۹°۳۹'	۳۷°۱۲'	۳۶/۷	۱۶	۹۶۰	۳۶/۹۲	بسیار مرطوب
ساری	۵۳°۰۰'	۳۶°۳۳'	۲۳	۱۷	۷۰۹/۷	۲۶/۲۸	مرطوب
سمنان	۵۳°۳۳'	۳۵°۳۵'	۱۱۳۰/۸	۱۷	۱۵۰/۷	۵/۵۸	خشک
سنندج	۴۷°۰۰'	۳۵°۲۰'	۱۳۷۳/۴	۱۲	۴۶۷/۹	۲۱/۲۶	مدیترانه‌ای
شهرکرد	۵۰°۵۱'	۳۲°۱۷'	۲۰۴۸/۹	۱۱	۶۶۱	۳۱/۴۷	مرطوب
شیراز	۵۲°۳۶'	۲۹°۳۲'	۱۴۸۴	۱۸	۳۳۴	۱۱/۹۲	نیمه خشک
قزوین	۵۰°۰۰'	۳۶°۱۵'	۱۲۹۸/۲	۱۴	۳۳۸	۱۴/۰۸	نیمه خشک
قم	۵۰°۵۱'	۳۴°۴۲'	۸۷۷/۴	۱۱	۱۷۶	۸/۳۸	خشک
کرمان	۵۶°۵۸'	۳۰°۱۵'	۱۷۵۳/۸	۱۹	۱۴۸	۵/۱۰	خشک
کرمانشاه	۴۷°۰۹'	۳۴°۲۱'	۱۳۱۸/۶	۱۲	۴۵۱/۸	۲۰/۵۳	مدیترانه‌ای
گرگان	۵۴°۱۶'	۳۶°۵۱'	۱۳۳	۱۷	۴۸۴/۶	۱۷/۹۴	نیمه خشک
مشهد	۵۹°۳۸'	۳۶°۱۶'	۹۹۹/۲	۱۴	۲۵۱	۱۰/۴۵	نیمه خشک
همدان	۴۸°۴۳'	۳۵°۱۲'	۱۶۷۹/۷	۱۱	۳۵۱	۱۶/۷۱	نیمه خشک
یاسوج	۵۱°۴۱'	۳۰°۵۰'	۱۸۳۱/۵	۱۵	۵۳۹/۴	۲۱/۵۷	مدیترانه‌ای
یزد	۵۴°۱۷'	۳۱°۵۴'	۱۲۳۷/۲	۱۸	۸۲	۲/۹۲	بسیار خشک

$$z^*(x) = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad 9$$

که در آن: $Z^*(x)$: تخمین مقدار متغیر Z در مکان x ; x : اشاره به یک مکان دارد، $n, i=1, \dots, n$ ، در این رابطه w_i مجموعه‌ای از وزن‌هاست، $Z(x_i)$: مقدار متغیر Z در مکان x_i می‌باشد.

روش چند جمله‌ای جهانی^۲

روش چندجمله‌ای جهانی، برازش دهنده یک سطح هموار توسط توابع ریاضی بر روی نقاط ورودی می‌باشد. در این روش امکان جستجو و محاسبه نقاط مجهول با استفاده از نقاط موجود در همسایگی آن‌ها وجود ندارد. تغییرات سطح در این روش تدریجی است و اثرات تغییرات ناگهانی در داده‌ها کاهش می‌یابد [۱۴]. روش چندجمله‌ای جهانی از رابطه‌ی ۱۰ تعریف گردید:

$$z^*(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i z(x_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i)} \quad 10$$

δ_i وزن داده شده به متغیر x_i (مقدار فرساینده‌ی باران) در نقطه i و n تعداد نقاط ایستگاهی اندازه‌گیری شده که برای برآورد همسایگی x استفاده شده است [۴].

روش موضعی^۳

در روش موضعی از توابع چندجمله‌ای برای میان‌یابی مقادیر فرساینده‌ی باران استفاده شد تعداد زیادی چندجمله‌ای بر داده‌های محدود در یک همسایگی معین برازش داده شدند؛ به‌طوری‌که دسته کم، مجذورهای متناسب را بین نقاط شناسایی شده در محدوده بیضوی، به مثابه وزن نقطه در نظر گرفتیم. با به‌دست آوردن تابع بین مقادیر فرساینده‌ی باران در نقاط همسایگی، میان‌یابی انجام شد [۴۴].

$$z(x) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2p}} \exp\left(-\frac{r_i z(x_i)^2}{2}\right) \quad 11$$

که در آن: $Z(x)$: تخمین مقدار متغیر Z در مکان x ; x : اشاره به نقطه مورد برآورد دارد، $n, i=1, \dots, n$ ، در این رابطه r_i مجموعه‌ای از وزن‌هاست، $Z(x_i)$: مقدار متغیر Z در مکان x_i می‌باشد.

روش کریجینگ

کریجینگ یک روش برآورد است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار بوده و بهترین برآورد کننده خطی نا اریب است. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ این بود که به ازاء هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه کرد. $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر فرساینده‌ی باران در مکان (x_i) بود، $Z(x_0)$ مقدار

تصمیم‌گیری در مورد انتخاب شاخص مناسب مشکل به نظر می‌رسد. در این تحقیق طبق توصیه محققین [۱۵] تصمیم گرفته شد که از یک شاخص نسبتاً ساده که امکان محاسبه آن با اطلاعات ایستگاههای باران سنجی مقدور بوده و از طرف دیگر مقبولیت بیشتری داشته باشند، استفاده گردد. از میان این گونه شاخص‌ها، شاخص فورنیه اصلاح شده (آرنولدوس) بیش از شاخص‌های دیگر در تعیین فرساینده‌ی باران و تهیه نقشه فرساینده‌ی به خصوص برای مناطق فاقد آمار شدت بارندگی، نشان دادن توزیع بارندگی در ماه‌های مختلف و همبستگی بالا با معادله EI30 [۳۴، ۳۷] مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. رابطه شاخص فورنیه اصلاح شده MF به صورت رابطه‌ی ۱ است [۱۶].

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \quad 1$$

در رابطه ۱، P_i متوسط بارندگی به میلی‌متر در ماه i ام و P متوسط بارندگی سالیانه به میلی‌متر و MF شاخص فورنیه اصلاح شده است. در مطالعه حاضر، با استفاده از رابطه‌ی ۱، شاخص فورنیه اصلاح شده برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه و سپس با جای‌گذاری شاخص رابطه ۱ در روابط ۲ و ۳ برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار یا شدت بارندگی پیشنهاد شده، مقدار عامل فرساینده‌ی باران بر حسب مگاژول در میلی‌متر در هکتار در ساعت در سال برای ایستگاه‌های شاخص برآورد گردید [۱۵].

$$R = (0.07397 \times F^{1.847}) \quad \text{اگر: } F < 55 \text{ mm} \quad 2$$

$$R = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times F^2) \quad \text{اگر: } F \geq 55 \text{ mm} \quad 3$$

با استفاده از روش فورنیه اصلاح شده عامل R برآورد و برای نشان دادن تغییرات آن در پهنه ایران از روش‌های میان‌یابی استفاده گردید. روش‌های میان‌یابی به دو دسته قطعی و زمین آمار دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های قطعی شامل روش وزن‌دهی عکس فاصله و چندجمله‌ای جهانی و موضعی و روش‌های زمین آمار شامل انواع روش‌های کریجینگ است [۱۵].

روش عکس فاصله^۱

در این روش مقدار فرساینده‌ی باران برای موقعیت هر نقطه ایستگاهی محاسبه و به صورت جداگانه لحاظ شد و موقعیت نسبی نقاط در نظر گرفته نشد. به نقاط ایستگاهی با فاصله یکسان از نقطه مورد تخمین وزن یکسانی داده شد و به نقاط ایستگاهی نزدیک‌تر وزن بیشتری اختصاص داده شد. در این روش وزن تابع از عکس فاصله و نقاط ایستگاهی نزدیک‌تر، تأثیر بیشتری در برآورد نقطه مجهول دارند. روش عکس فاصله از رابطه‌ی ۹ تعریف گردید [۴]:

2. GPI: Global Polynomial Interpolation

3. LPI: Local Polynomial Interpolation

1. Invers Distance Weighted

برآورد شده فرسایندگی باران در نقطه (X_0) بود که از ترکیب خطی رابطه ۱۰ به دست آمد [۴۴]:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad ۱۲$$

λ_i وزن داده شده به متغیر X_i در نقطه i و n تعداد نقاط اندازه گیری شده که برای برآورد همسایگی X استفاده شده است. این نوع کریجینگ کریجینگ خطی است زیرا ترکیب خطی از n داده بود. شرط استفاده از این برآورد گر این بود که داده ها از توزیع نرمال پیروی کنند. ثابت شد که به منظور نا اریب بودن رابطه ۹ می بایست مجموع وزن آماری نسبت داده شده به نمونه ها (λ_i) برابر یک باشد.

واریوگرام^۱

نیم تغییر نما یا واریوگرام متداول ترین ابزاری است که همبستگی مکانی را در زمین آمار بررسی می کند. نیم تغییر نما میزان عدم تشابه را بین مقادیر یک ویژگی هنگامی که فاصله بین نمونه ها افزایش می یابد، نشان می دهد. محاسبات نیم تغییر نما با رابطه ی ۴ انجام شد.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad ۴$$

$\gamma(h)$: مقدار نیم تغییر نما برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند $n(h)$: تعداد زوج نقاط اعداد فرسایندگی باران است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند (واحد بر حسب میلی ژول در میلی متر)؛ $z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x : $z(x_{i+h})$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد.

واریوگرام ها از سه پارامتر اثر قطعه ای، شعاع تأثیر و حد آستانه تشکیل شده که مقدار نیم تغییر نما به ازای $h=0$ اثر قطعه ای می باشد. مقدار نیم تغییر نما ناشی از خطای نمونه برداری و یا آنالیز داده ها می باشد. با افزایش h ، مقدار نیم تغییر نما تا فاصله معینی اضافه شد سپس به حد ثابتی رسید که این فاصله را شعاع تأثیر و مقدار نیم تغییر نما که ثابت شده به عنوان حد آستانه گویند یا همان واریانس مکتبی متغیر مورد بررسی در نظر گرفته شد.

به منظور بررسی همبستگی مکانی و ساختار مکانی مقادیر فرسایندگی باران با استفاده از نرم افزار تخصصی GS+ نیم تغییر نما داده ها مورد آنالیز قرار گرفت. مدل مناسب برای برازش بر روی نیم تغییر نما تجربی با توجه به مقدار خطای کمتر و میزان نسبت $C/(C_0+C)$ انتخاب گردید. واریوگرام دارای انواع مختلفی است که در پژوهش حاضر از واریوگرام های نمایی، گوسن، کروی و خطی استفاده گردید.

مدل کروی^۲

رایج ترین مدل واریوگرام است که معادله ی آن به صورت رابطه ی ۵ محاسبه شد:

$$\delta(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \times \left(\frac{h}{s} \right) - \frac{1}{2} \times \left(\frac{h}{s} \right)^3 \right] \quad ۵$$

که در این رابطه: C_1 حد آستانه، C_0 اثر قطعه ای، a دامنه تأثیر و

h فاصله بین نمونه ها است.

مدل نمایی^۳

دیگر مدل استفاده شده رابطه ی ۶ است:

$$\delta(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad ۶$$

که در این رابطه C_1 حد آستانه، C_0 اثر قطعه ای، a دامنه تأثیر و h فاصله بین نمونه ها، $\exp$ تابعی که مقدار e به توان X را محاسبه می کند.

این مدل به طور جانبی به آستانه میل می کند. بنابراین شعاع تأثیر فاصله ای منظور شد که مقدار سمی واریوگرام به ۹۵ درصد آستانه رسید.

مدل گوسن^۴

مدل گوسن همانند مدل نمایی به طور جانبی به آستانه می رسد. ویژگی مشخص مدل گوسن، حرکت سهمی گونه آن در نزدیکی مبدأ و یک نقطه عطف است که معادله ی آن به صورت رابطه ی ۷ می باشد:

$$\delta(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right] \quad ۷$$

که در این رابطه C_1 حد آستانه، C_0 اثر قطعه ای، a دامنه تأثیر و h فاصله بین نمونه ها، $\exp$ تابعی که مقدار e به توان X را محاسبه می کند.

مدل خطی

مدل خطی نیز یک مدل انتقالی بوده، زیرا فاقد آستانه می باشد. معادله ی آن به صورت رابطه ی ۸ می باشد:

$$\delta(h) = a + \beta h^\theta \quad ۸$$

که در این رابطه C_1 حد آستانه، C_0 اثر قطعه ای، a دامنه تأثیر و h فاصله بین نمونه ها، $\exp$ تابعی که مقدار e به توان X را محاسبه می کند.

معیارهای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل

میان یابی در ادامه صحت میان یابی ها مورد ارزیابی قرار گرفت. معیارهای ارزیابی استفاده شده در مطالعه حاضر براساس پارامترهایی از قبیل ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، MAE^۵ و RMSE^۶ تعریف شدند. هر قدر ضریب همبستگی بالاتر باشد، نشان دهنده مناسب بودن روش است. روش های محاسبه عوامل مورد استفاده در رابطه ی ۱۳ و ۱۴ دیده می شود.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - z(x_i)| \quad ۱۳$$

3. Exponential

4. Gaussian

5. Mean Absolute Error

6. Root Mean Square Error

1. Variogram

2. Spherical

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad ۱۴$$

Z^* : مقادیر مشاهده شده؛ Z : مقادیر برآورد شده متغیر مورد نظر؛
 n : تعداد داده‌ها؛ MAE: میانگین قدر مطلق خطا و RMSE: مربع میانگین ریشه خطاء بود.

نتایج

میزان شاخص فورینه اصلاح شده و عامل فرسایندگی باران به همراه

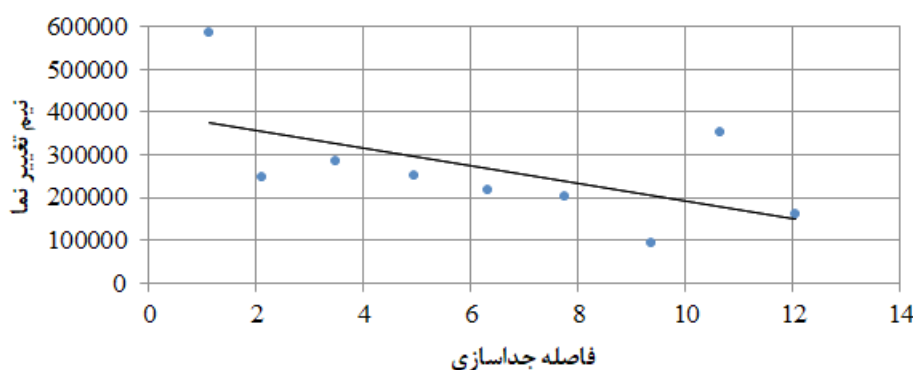
آماره کندال طی دوره آماری ۶۴ ساله در جدول ۴ ارائه گردید. نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام‌های مختلف ارائه شده است (جدول ۴). با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام خطی با میزان صفر بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای میان‌یابی استفاده شد (شکل ۳). بعد از واریوگرام خطی، واریوگرام‌های نمایی، گوسین و کروی به ترتیب با میزان ۰/۵۰، ۰/۵۰ و ۰/۸۳ قرار دارند.

جدول ۴: مقادیر عامل فرسایندگی باران (بر حسب مگاژول در میلی‌متر در هکتار در ساعت در سال) در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری مورد مطالعه

نام ایستگاه	MF(mm)	R	آماره من-کندال
اراک	۶۹/۷۹	۱۱۵/۹۷	۱/۹۶*
ارومیه	۶۰/۶۴	۸۶/۱۱	-۱/۲۶
اصفهان	۳۴/۱۶	۲/۹۲	۲/۳۲*
اهواز	۶۸/۹۵	۱۱۳/۰۳	۱/۴
بندرعباس	۹۲/۵۰	۲۱۰/۱۵	-۲/۳۷*
بوشهر	۱۱۴/۲۴	۳۲۷/۱۱	-۲/۴۸*
بیرجند	۴۲/۷۶	۴/۴۳	-۲/۱۷*
تبریز	۴۶/۵۷	۵/۱۸	-۲/۸۹*
تهران	۴۷/۴۸	۵/۳۷	۱/۵۴
خرم‌آباد	۹۶/۸۱	۲۳۱/۲۶	-۱/۴۶
زاهدان	۳۲/۹۷	۲/۷۴	-۲/۳۳*
زنجان	۵۵/۷۹	۷۲/۱۶	-۱/۲۹
رشت	۲۹۵/۸۸	۲۲۰/۴۶	۰/۸۵
ساری	۱۳۷/۸۰	۱۱۰/۲۳	۰/۹۵
سمنان	۳۲/۴۳	۲/۹۷	۱/۴۲
سنندج	۸۲/۰۱	۱۶۳/۰۹	-۰/۸۲
شهرکرد	۷۲/۲۱	۱۲۴/۶۴	۱/۵۶
شیراز	۱۰۷/۱۶	۲۸۶/۱۴	-۰/۲۰
قزوین	۵۹/۶۴	۸۳/۱۳	۱/۴۵
قم	۳۵/۲۲	۳/۰۹	۲/۱*
کرمان	۲۰۱/۳۳	۱۰۵/۴۹	-۲/۰۱*
کرمانشاه	۸۵/۱۱	۱۷۶/۳۶	۱/۵۸
گرگان	۷۵/۹۴	۱۳۸/۶۵	۰/۳۵
مشهد	۵۱/۰۸	۶/۱۵	-۰/۲۱
همدان	۶۰/۲۵	۸۴/۹۴	-۰/۳۸*
یاسوج	۱۸۵/۵۸	۸۹۵/۰۶	۰/۳۲
یزد	۲۱/۰۸	۱/۲۰	۰/۳۸
کشور	۵۰/۷۸	؟	۰/۹۶

جدول ۴: عوامل مؤثر در مدل ساختار فضایی

نوع مدل	اثر قطعه (mm^2)	اثر آستانه (mm^2)	نسبت اثر قطعه بر آستانه
خطی	۲۵۳۱۷۷	۲۵۳۱۷	۰
نمایی	۲۱۴۲۰۰	۴۲۸۵۰۰	۰/۵۰۰
گوسین	۲۴۰۳۰۰	۴۸۰۷۰۰	۰/۵۰۰
کروی	۴۲۲۰۰	۲۵۳۲۰۰	۰/۸۳۳



شکل ۳: واریوگرام برازش داده شده به داده‌های عامل فرساینده

جدول ۵: میزان MAE و RMSE شاخص فرساینده براساس روش‌های مختلف آماری

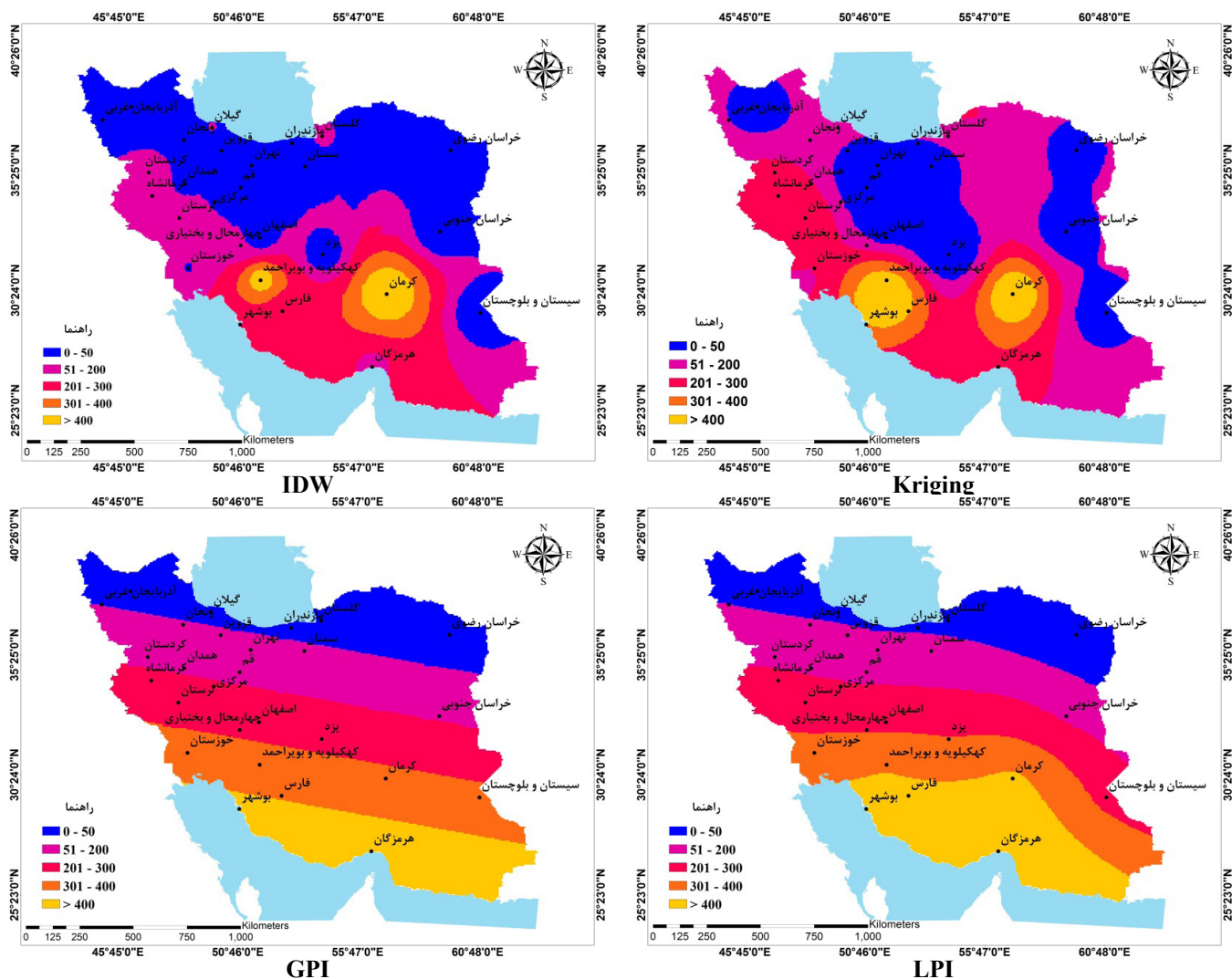
آماره خطا	روش درونیابی			
	عکس فاصله	چندجمله‌ای جهانی	موضعی	کریجینگ
MAE	۲۶/۹۰	۲۷/۲	۳۲/۳	۲۰/۹۶
RMSE	۳۳/۳۸	۲۹/۳۱	۴۱/۶۷	۲۸/۹۴

و بخش‌هایی از شمال غرب، نوار ساحلی و شرق کشور در محدوده کمتر از ۲۰۰ قرار دارند.

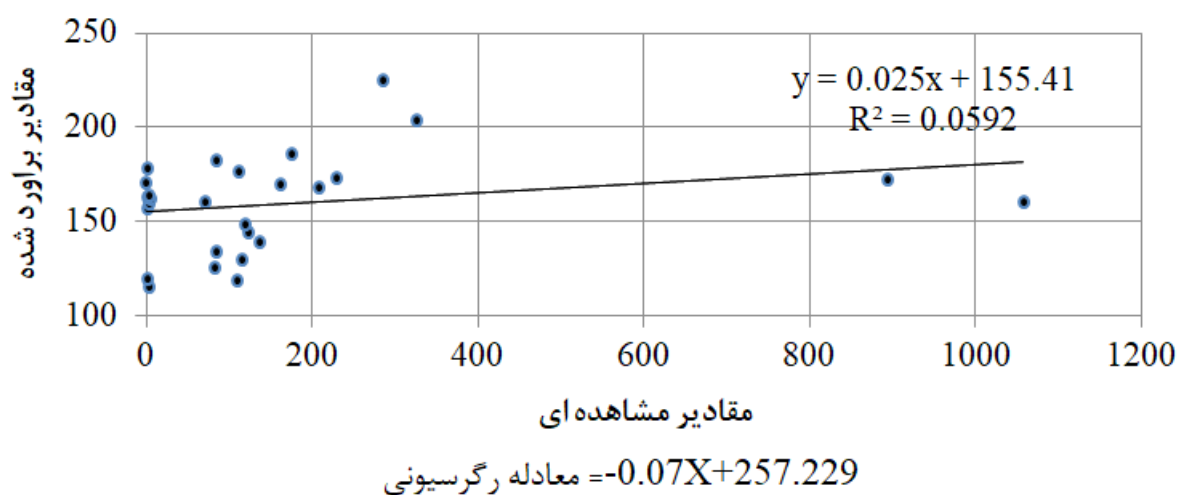
شکل ۶، روند تغییرات عامل فرساینده باران را در ایران نشان می‌دهد، بخش زیادی از کشور دارای روند و برخی ایستگاه‌های واقع در مناطق غرب و بخش مرکزی کشور فاقد روند است. عموماً در مناطق شمالی عامل فرساینده رو به کاهش و در بخش‌های پهنه مرکزی ایران دارای روند افزایشی است.

در نتایج حاصل از ارزیابی مدل براساس MAE و RMSE کمترین خطا به روش کریجینگ تعلق دارد (جدول ۵)

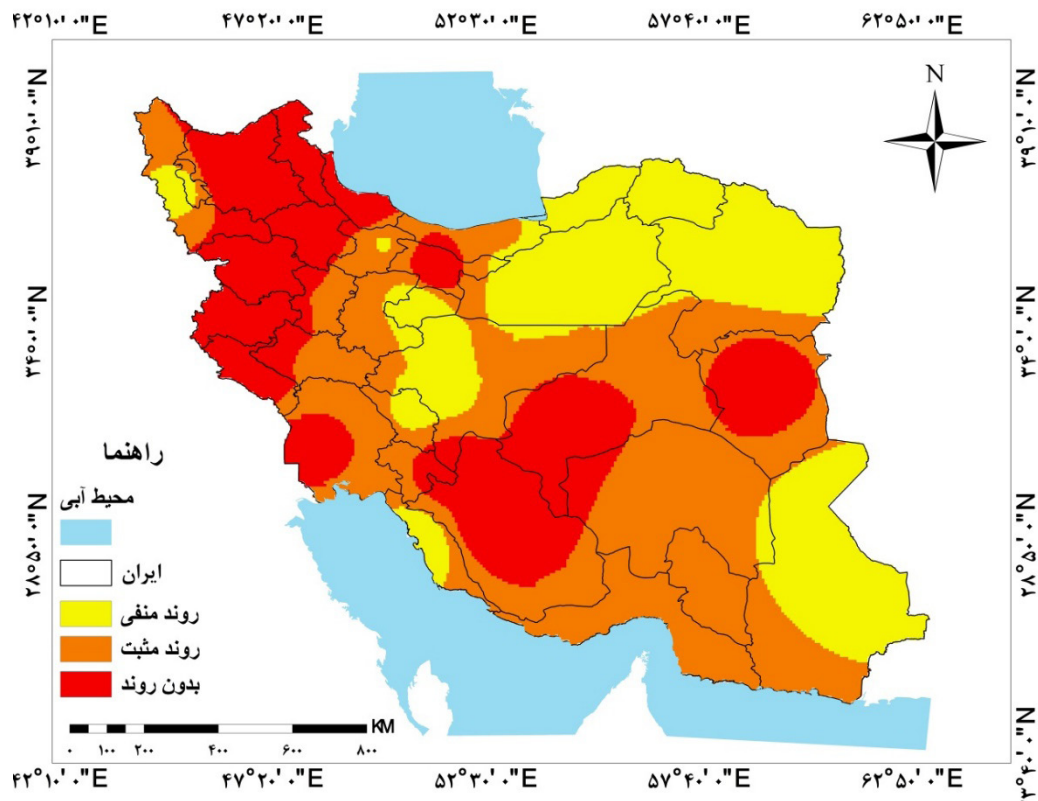
پهنه‌بندی عامل فرساینده با روش‌های عکس فاصله، چند جمله‌ای جهانی، روش موضعی و روش کریجینگ انجام شد (شکل ۴). نتایج نشان داد، نمودار همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش کریجینگ بالاترین دقت را نسبت به سایر روش‌های میانجی دارد (شکل ۵). بر اساس نتایج بدست آمده از روش کریجینگ، وسعت زیادی از کشور در محدوده فرساینده بیش از ۲۰۰ مگاژول بر میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر سال قرار دارد



شکل ۴: پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌گی با استفاده از روش‌های مورد استفاده (براساس معیار دسته‌بندی [۱۷])



شکل ۵: رابطه بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر برآورد شده عامل فرساینده‌گی باران با استفاده از روش کریجینگ



شکل ۶: روند عامل فرساینده باران در ایران طی شش دهه گذشته با روش کریجینگ

بحث و نتیجه‌گیری

فرض بر این است که فاکتور فرساینده باران به عنوان یک شاخص منتج شده از داده‌های بارش می‌تواند برآورد خوبی از فرسایش باشد. فرساینده باران بستگی به میزان، نوع و شدت بارش دارد که در نتیجه عامل فرساینده باران به عنوان شاخص مناسبی جهت برآورد پدیده فرسایش باشد [۳].

به منظور تعمیم و گسترش اطلاعات نقطه‌ای مقادیر فرساینده باران و نیز تغییرات مکانی آن نیاز به مدل‌هایی است که بتواند متغیر مورد بررسی را در نقاط مجهول شبیه سازی نماید.

در تحقیق حاضر، از چهار مدل واریوگرام مختلف استفاده شده است. با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام خطی با میزان صفر بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده است. بعد از واریوگرام خطی، واریوگرام‌های نمایی، گوسین و کروی به ترتیب با میزان ۰/۵۰، ۰/۵۰ و ۰/۸۳ قرار دارند. همچنین با افزایش تعداد ایستگاه‌های بارندگی می‌توان دقت میان‌یابی را افزایش داد که با نتایج حکیم خانی و همکاران [۱۶]، حزبای و صادقی [۱۷]، صادقی و حزبای [۳۵] و صادقی و همکاران [۳۶] در کشور همخوانی دارد.

نتایج ارزیابی روش‌های میان‌یابی زمین آماری به منظور برآورد شاخص فرساینده باران بیانگر آن است که روش کریجینگ با خطای کمتر، دقت بالاتری دارد. به طوری که با MAE و RMSE

به ترتیب ۲۰/۹۶ و ۲۸/۹۴ کمترین خطا را داشت که به عنوان بهترین روش برای پهنه‌بندی فاکتور فرساینده باران معرفی گردید. نتایج دینگمن [۱۰] در تخمین میانگین بارندگی سالانه در شهر ورمونت در شمال شرقی آمریکا، نتایج گووارت [۱۴] در میان‌یابی بارندگی دمای سالانه منطقه‌ای به وسعت ۵۰۰۰ کیلومترمربع از کشور پرتغال، [۳۰] در کشور سوئیس برای میان‌یابی [۲۶] در تهیه نقشه هم دمای ایران، روش کریجینگ را مناسب دانستند، با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

بررسی‌ها نشان داد، بیشترین و کمترین میزان عامل فرساینده باران در مناطق مرکزی و شمالی ایران مشاهده گردید. نتایج کمینه بدست آمده این تحقیق، تفاوت چندانی با صادقی و حزبای [۳۵] ندارد، اما نتایج بیشینه آن تفاوت فاحشی دارد که علت آن را می‌توان تفاوت در ایستگاه‌های منتخب دارد.

تحلیل روند تغییرات عامل فرساینده باران طی شش دهه گذشته در ایران نشان داد، به استثناء مناطق غربی و بخش کوچکی در مرکز کشور، سایر نقاط دارای روند معنی‌داری هستند. عامل فرساینده باران در شمال ایران رو به کاهش و در پهنه مرکزی ایران رو به افزایش است. نتایج محققین در بررسی آمار بلندمدت بارش در ایران [۱۰] نشان داد، بطور کلی بارش در مناطق خشک رو به افزایش و مناطق پرباران رو به کاهش است. از آنجاکه روند بارش بروی تغییرات عامل فرساینده باران بطور مستقیم موثر است، لذا روند عامل

Press.

9-Dingman, S.L., Seely-Reynolds, D.M., and Reynolds, R.C. 1998. Application of Kriging to Estimating Mean Annual Precipitation in a Region of Orographic Influence. *Journal of the American Water Resources Association*, 24 (2): 239-339.

10-Eghtedarneshad, M., Bazrafshan, O., and Bazrafshan, J. 2017. Spatio-temporal variations of meteorological drought using standardized precipitation evapotranspiration index in Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 5: 35-46. (In Persian)

11- Eltaif, N. I., Gharaibeh, M. A., Al-Zaitawi, F., & Alhamad, M. N. (2010). Approximation of rainfall erosivity factors in North Jordan. *Pedosphere*, 20(6), 711-717.

12-Ferro, V., Giordano, G., and Lovino, M. 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrological Sciences Journal*, 36 (6): 549-564.

13-Gandomkar, A., and Kiarostami, F. 2007. The Use of GIS in Estimating the Real Capacity of Rain Erosion (The Fournier Case Study for Esfahan). First Conference of Urban GIS, Shomal University, Amol.

14-Goovaerts, P. 2000. Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation Rainfall. *Journal of Hydrology*, 228 (1): 113-129.

15-Hakim Khani, S., and Hakim Khani, I. 2011. Rainfall erosivity mapping for Lorestan province. *Watershed Management Research Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 89: 62-72.

16-Hargrove, W.W. 2001. Interpolation of Rainfall in Switzerland Using Regularized Splines with Tension. Geographic Information and Spatial Technologies Group, Book Ridge National Laboratory, <http://www.geobabble.org/hnw/sic97>.

17- Hazbavi Z, Sadeghi SHR (2013) Analysis of spatial trend of rainfall erosivity in Iran In: 1st international conference on environmental crisis and its solutions, Kish Island-Iran, 13-14 Feb 2013, pp 434-440

18-IRIMO, 2017. Iran Meteorological bulletin. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization Press, Tehran. (In Farsi)

19-Kastelec, D., and Kosmelj, K. 2002. Spatial interpolation of mean yearly precipitation using

فرساینده‌گی باران نیز از آن تبعیت می‌نماید.

نتایج تحقیق حاضر، منبع مهمی از اطلاعات است که در مدیریت اراضی، طرح‌های حفاظت خاک و مدیریت اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، با تهیه نقشه توان فرسایشی و با تلفیق آن با نقشه‌های درصد و تراکم پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاعات می‌توان نقاط با توان فرساینده‌گی بالا را تعیین و نسبت به اقدامات حفاظتی در آن‌ها در قالب طرح‌های حفاظت خاک اقدام کرد.

منابع

1-Alipour, Z.T., Mahdian, M.H., Hakim Khani, Sh., and Saeedi, M. 2010. Calculation and estimation of EI30, Lal, Hudson and Onchev indices in salt lake basin. *Journal of Agricultural Sciences, Islamic Azad University, Tabriz Branch*, 4:141-157 (In Persian).

2-Alipour, Z.T., Mahdian, M. H., Pazira, E., and Heydarzadeh, M. 2007. The study of rainfall erosion index in the salt lake, 10 th Iranian soil science congress, Karaj, Agricultural and Natural Resources Campus, Tehran University, Iran (In Farsi).

3-Angulo-Martinez, M, Lopez-Vicente, SM., Vicente-Serrano, S., and Begueria, S. 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). *Hydrology and Earth System Science*, 13(10): 1907-1920.

4-Aronica, G., and Ferro, V. 1997. Rainfall erosivity over the Calabrian region. *Hydrological sciences Journal*, 42 (1): 35-48.

5-Asakereh, H. 2008. Application of Kriging method for precipitation interception, case study of precipitation interchange, Iran, 6 (12): 25-42 (In Farsi).

6-Behzadfar, M., Hasanzadeh, H., and Saberi, M. 2009. Estimation of Fournier Rainfall Erosivity Factor in North Khorasan Province. Fifth National Conference on Science and Engineering of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

7-Bernstein, L. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report, Summary for Policymakers Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Un-edited copy Prepared for COP-13 Edition.

8-Bohling, G 2005. Introduction to geoStatistics and variogram analysis. London, Kansas geological survey

statistical method, *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 3 (4): 44-35 (In Farsi).

31-Nalder, J.A., and Wein, R.W. 1998. Spatial interpolation of climate normals: Test of a new method in the Canadian Boreal Forest. *Agricultural and forest meteorology*, 94 (4): 211-225.

32-Oduro, K. 1996. Rainfall erosivity map for Ghana. *Geoderma*, page 161-166.

33-Onchev, N.G. 1985. Universal index for calculating rainfall erosivity. In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C. and Lo, A. (eds), *Soil erosion and conservation*, Soil Conservation Society of America, Ankeny, IO, 424-431.

34-Renard, K.G., and Freimund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R- factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157 (1-4): 287-306.

35-Sadeghi SHR, Hazbavi Z (2015) Trend analysis of the rainfall erosivity index at different time scales in Iran. *Nat Hazard* 77:383-404

36-Sadeghi SHR, Moatamednia M, Behzadfar M (2011) Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. *J Agric Sci Tech* 13:451-464

37-Sepaskhah, A. R., and Panahi, J. 2007. Estimating storm erosion index in Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B, Engineering*, 31(B2): 237-248.

38-Shabani, A., Shah Bakhti, M., and Abbaspour, R. A. 2011. Modeling the distribution of atmospheric pollutants in Tehran's metropolitan area using statistical and statistical methods, *International Geomatics Conference 2011*, Mapping Organization of Iran, Iran (In Farsi).

39-Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *catena*. 57 (3): 251-259.

40-Stow, C.D., and Dirks, K.N. 1998. High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island: Part 1 : the spatial variability of rainfall, *Journal of Hydrology*, 163-186.

41-Teimouri, F., and Bazrafshan, O. 2017. Analysis of Temporal Distribution of Rainfall in Iran Over the Past four Decades. *Geography and Development Iranian Journal*, 15(48): 171-188.

universal kriging. *Developments in statistics*, 17: 149-162.

20-Kumar, V., and Remadevi, S. 2006. Kriging of groundwater levels a case study. *Journal of Spatial Hydrology*, 6 (1): 81-94.

21-Lal, R. 1976. Soil erosion on alfisols in western Nigeria, Effects on rainfall characteristics, *Geoderma*, 16 (5): 389-401.

22-Lashani Zand, M., Behrouz, M., and Beiranvand, F. 2011. Spatial and temporal variability of climate for Lorestan, *Natural geography Journal*, 11(4): 89-106 (In Farsi).

23-Lu, G.Y., and Wong, D.W. 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers and Geosciences*, 34(9): 1044-1055.

24-Massoudian, S. A. 2003. Monthly Temperature Structure Analysis, *Journal of Humanities Research*, University of Isfahan, 15 (1 & 2): 87-96 (In Farsi).

۲۵-Mashhal, M., Darvishi, E., and Goliz Sabet, H. 2008. Evaluation of observation wells network of groundwater level using geostatistical methods in Arak Plain, *Third Conference on Watershed Management and Water and Soil Management*, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran (In Farsi).

۲۶-Mehdizadeh, M. ۲۰۰۲. Estimation of the statistical pitch for estimation of temperature and rainfall in the watershed of Lake Urmia. MSc thesis, University of Tehran (In Persian).

27-Meusburger, K., Steel, A., Panagos, P., Montanarella, L., and Alewell, C. 2012. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 167-177.

28-Mingxin, M., Yu, Z., and Xu, H. 2008. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province China. *Frontiers of Agriculture in China*, 2 (3): 281-289.

29-Missimer, T., and Maliva, R. 2012. Arid Lands Water Evaluation and Management. *Environmental Science and Engineering*, 41-54

30-Mohammadi, J. 1998. Preparation of rainfall erosion map in Iran using Forney Index and Kriging

45-Wischmeier, W.H., Johnson, C. B., and Cross, B.V. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal Soil and Water Conserv*, Volume 26.

46- Zabihi, M., Sadeghi, S., Vafakhah, M. (2015). Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Watershed Engineering and Management*, 7(4), 442-457.

(In Farsi).

42-Vrieling, A., Sterk, G., and de Jong, S. 2010. Satellite- based estimation of rainfall erosivity for Africa. *Journal of Hydrology*, 395 (3): 235-241.

43-Wald, A., and Wolfowitz, J. 1951. Characterization of the minimal complete class of decision functions when the number of distributions and decision is finite. In *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 149-158.

44-Webster, R., and Oliver, M.A. 2000. *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley press, 271 pp.



Abstract

Intelligent geospatial system for suspended sediment estimation in Iranian riversM. Eghtedarnezhad¹ and O. Bazrafshan^{*2}

Received: 2019/04/12 Accepted: 2019/12/02

Rainfall erosivity is usually expressed in terms of erosion indices based on rainfall characteristics. Various indices have been presented so far, among which the erosive factor (R) in the global soil loss equation (RUSLE) is more popular in the world. The aim of this study is modeling of rainfall erosivity index using 27 sinoptic station and trend analysis with Mann-Kendal test during 1951-2014. A modified Fornier index, which can be calculated on the basis of monthly rainfall, was used by reviewing worldwide research and also by the lack of stations. After calculating the rainfall erosivity factor, the rainfall erosivity map was mapped and semi-variogram map with GS+ software was used to show the spatial correlation. For interpolation of erosivity index was used from IDW, GPI, LPI and Krigging. Root mean square error indices and mean absolute error values were used to select the best mediation method. The results showed that the Kriging method with root mean square error of 0.8 and absolute mean error of 0.8 is the best method. Thus, the country can be divided into five regions which semi-arid regions have the highest rainfall erosivity. Also, these regions have a increasing trend of rainfall erosivity.

Keywords: Geostatistical , Variogram, Interpolation

1. Ph.D student, Facutly of Natural Resources Enginnering, University of Yazd, Yazd, Iran

2. Corresponding Author, Department of Natural Resources Enginnering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Corresponding author, Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir