

ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی عامل فرساینده‌گی باران و شدت فرساینده‌گی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مندرجان، استان اصفهان)

شاهین محمدی^۱، حمیدرضا کریم‌زاده^{۱*}، سعید پورمنافی^۲ و میثم علیزاده^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۴)

چکیده

یکی از عوامل تعیین‌کننده میزان فرسایش آبی خاک، فرساینده‌گی باران است. فرساینده‌گی باران به وسیله کل انرژی رگبار و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای تعیین می‌شود. از آنجا که فرساینده‌گی باران رابطه نزدیکی با مقدار بارش و رژیم شدت بارش دارد، انتظار می‌رود که فرساینده‌گی باران به صورت ماهانه و فصلی در طول سال متغیر باشد. هدف اصلی این مطالعه، مدل‌سازی تغییرات مکانی و زمانی فرساینده‌گی باران، تراکم فرساینده‌گی و تأثیر آن بر میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز مندرجان است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های بارش یک دقیقه‌ای ایستگاه‌های باران‌نگار مجاور حوضه در طول دوره آماری ۱۱ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۴) عامل فرساینده‌گی باران به صورت متوسط ماهانه محاسبه شد، سپس با استفاده از فناوری‌های زمین‌آمار اقدام به پهنه‌بندی شد. مقایسه نقشه‌های فرساینده‌گی بارش ماهانه، فصلی و سالانه نشان داد که بیشترین فرساینده‌گی باران در فصل پاییز (حدود ۴۱ درصد) و کمترین آن در فصل تابستان (کمتر از یک درصد) مشاهده شد. نتایج نشان داد که آبان‌ماه با ۶۵ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر ماه) بیشترین مقدار فرساینده‌گی و مردادماه با مقدار صفر، کمترین مقدار فرساینده‌گی را دارد. این مطالعه نشان داد، انتظار می‌رود بالاترین خطر فرسایش خاک در ماه آبان باشد، زیرا که در این ماه نه تنها فرساینده‌گی باران زیاد است، بلکه تراکم فرساینده‌گی نیز زیاد است.

واژه‌های کلیدی: تراکم فرساینده‌گی، **RUSLE**، پهنه‌بندی، سد زاینده‌رود

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: karimzadeh@cc.iut.ac.ir

مقدمه

فرسایش خاک فرایندی پیچیده‌ای است که از اثر متقابل خاک، اقلیم، پستی و بلندی، پوشش سطحی و کاربری زمین حاصل می‌شود. این فرایند به دلیل افزایش جمعیت دنیا، به عنوان یکی از اصلی‌ترین رفتارهای محیطی به شمار می‌رود و از مهم‌ترین نتایج تغییرات کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی است (۱۳). در دهه‌های اخیر تغییرات اقلیمی شدید توجه بسیاری از کشورهای جهان را به خود جلب کرده است زیرا تغییرات آب‌وهوا ممکن است منجر به تغییراتی در ویژگی‌های بارش شود که یک نگرانی عمده برای حفاظت از خاک است (۱ و ۴۸). باران به وسیله ایجاد رواناب و جداسازی خاکدانه‌ها از هم، تأثیر مهمی بر فرسایش خاک دارد (۳۲). فرساینده‌های باران با شدت و مقدار بارندگی مرتبط است که این دو پارامتر پتانسیل مقدار فرساینده‌ها را مشخص می‌کنند (۱۵)، بنابراین به خوبی مشخص است که یک واقعه بارندگی شدید و کوتاه مدت مسئولیت بیشترین قسمت فرسایش خاک در حوضه را بر عهده دارد (۳). شاخص‌های فرساینده‌های باران را می‌توان به دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل الوصول تقسیم‌بندی می‌شوند (۱۴). از شاخص‌های گروه اول می‌توان شاخص EI_3 (۴۳)، $KE > 1$ (۱۶)، AIM (۲۲) و P/t (۳۴) و از شاخص‌های گروه دوم می‌توان به شاخص فورنیه (۱۲)، فورنیه اصلاح شده (۴)، بیورست (۴۰) و سیکاسی (۲) را نام برد. از مهم‌ترین شاخص‌های ذکر شده EI_3 یا R نام دارد که از مقبولیت گسترده‌ای در سطح جهان برخوردار است. مقبولیت، نحوه محاسبه و همچنین محدودیت محاسباتی این شاخص باعث شده تا مطالعاتی مختلفی در رابطه با مدل‌سازی و پهنه‌بندی مکانی - زمانی فرساینده‌های باران در مقیاس‌های قاره‌ای، ملی و محلی با این شاخص صورت بگیرد (۸، ۹، ۱۷، ۲۱، ۳۶ و ۴۲). برخی از این مطالعات به شرح زیر هستند:

بونیا و ویدال (۵) به پهنه‌بندی فرساینده‌های باران در مرکز شیلی پرداختند. ابتدا شاخص فرساینده‌های باران را برای ۱۶

ایستگاه دارای باران‌نگار ثبات محاسبه کردند و سپس به برآزش مدل بین متوسط سالیانه این شاخص و مقدار بارندگی سالیانه پرداختند. در نهایت مدل نمایی را به عنوان بهترین مدل انتخاب کردند. لی و هئو (۲۴) به ارزیابی مدل‌های تخمین‌گر شاخص فرساینده‌های باران برای تعیین مدل‌های قابل اجرا در کره پرداختند. در این مطالعه شاخص واقعی فرساینده‌های باران را در ۳۳ ایستگاه محاسبه کردند و سپس به آنالیز همبستگی بین شاخص فرساینده‌های واقعی و ۸ پارامتر بارش پرداختند. در نهایت برای پیش‌گویی شاخص فرساینده‌ها، مدل‌های ساده‌ای که پایه آن روی مقدار بارش سالیانه است را به عنوان مناسب‌ترین نوع مدل‌ها بیان کردند. برولی و همکاران (۶) به منظور تخمین عامل فرساینده‌ها در مقیاس زمانی ماهانه و فصلی در کشور ایتالیا به مطالعه پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار عامل فرساینده‌ها در فصل‌های تابستان و پاییز (ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر) مشاهده می‌شود. اسمیت و همکاران (۳۹) به منظور بررسی الگوی شاخص فرساینده‌ها به صورت دوره‌های ماهانه و فصلی در کشور سوئیس به مطالعه پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات بارش و عامل فرساینده‌ها در ماه‌های جولای، آگوست، ژوئن مشاهده می‌شود. پاناگوس و همکاران (۳۵) به منظور بررسی عامل فرساینده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف در اروپا به مطالعه پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار عامل فرساینده‌ها در ماه‌های جولای، آگوست و ژوئن و کمترین مقدار عامل فرساینده‌ها را در ماه‌های فوریه و مارس دارند.

حکیم‌خانی و حکیم‌خانی (۱۴) به منظور تهیه نقشه فرساینده‌های باران در استان لرستان اقدام به برآورد و مدل‌سازی شاخص EI_3 در ۱۳ ایستگاه باران‌نگار کردند که بهترین مدل رگرسیونی بر مبنای شاخص فورنیه اصلاح شده با ضریب تبیین و اشتباه استاندارد به ترتیب ۰/۹۹۵ و ۱۱۲ به دست آمد. سپس با استفاده از مدل به دست آمده میزان فرساینده‌ها را در ۶۱ ایستگاه در داخل و خارج از استان برآورد کردند. سپس با ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی، با استفاده از روش

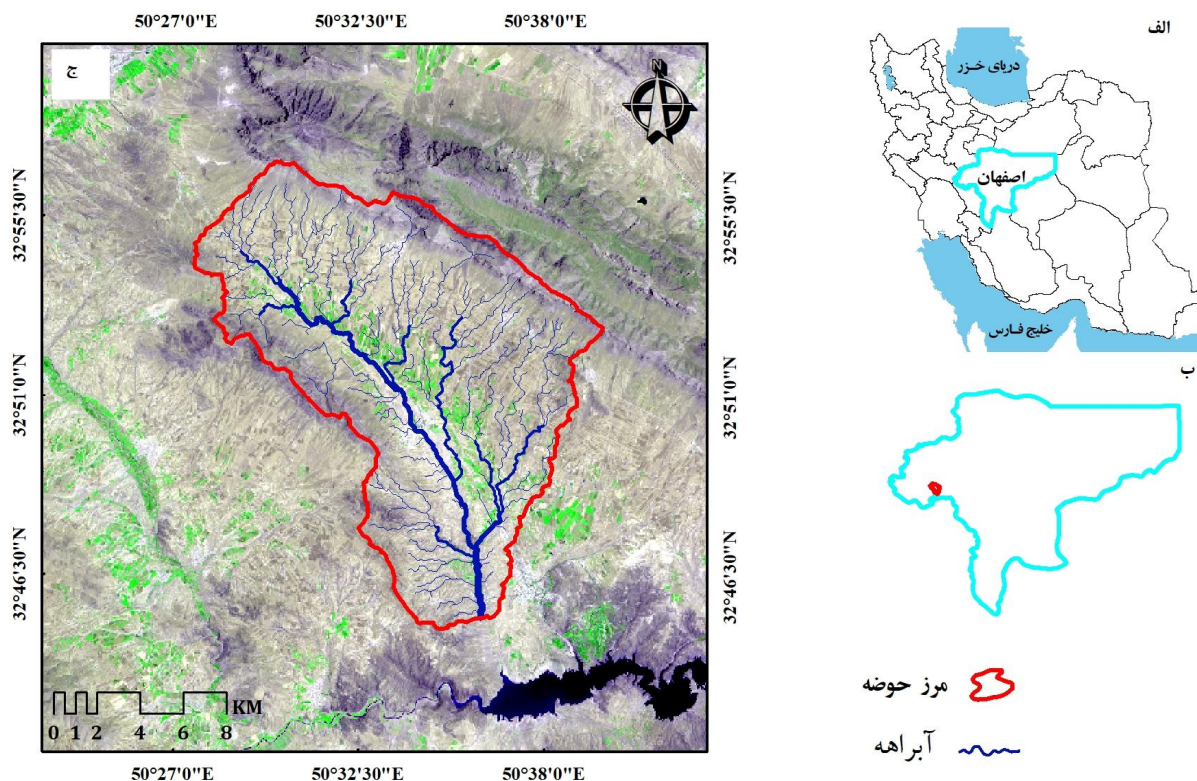
فرساینده‌گی باران به صورت سالانه است و تغییرات این شاخص به صورت ماهانه و فصلی کمتر مورد توجه بوده، در حالی که این موضوع از اهمیت بالای برخوردار است؛ با توجه به اینکه نوع اقلیم و موقعیت منطقه، نحوه توزیع بارش در طول سال متفاوت است؛ بنابراین برای ارزیابی نقشه‌های مکانی مداوم خطر فرسایش خاک الگوهای زمانی فرساینده‌گی باران مورد نیاز است. همچنین با بررسی شاخص تراکم فرساینده‌گی می‌توان ارزیابی بهتری را از نوع باران‌های فرساینده در هر ماه انجام داد (برای مثال توانایی نوع بارش‌ها با شدت زیاد و مدت کم یا مدت زیاد و شدت کم را با استفاده از شاخص شدت فرساینده‌گی تعیین کرده) و خطر رخداد فرسایش خاک را بهتر مشخص کرد که در تحقیقات داخلی مورد بررسی پژوهشگران قرار نگرفته است. این زیرحوضه یکی از اصلی‌ترین زیرحوضه‌های بالادست سد زاینده‌رود است (شکل ۱) و از آنجایی که ارتباط بین مقدار شاخص فرساینده‌گی باران و میزان فرسایش خاک یک رابطه مستقیم است بنابراین ارزیابی ماهانه تغییرات فرساینده‌گی سبب افزایش درک از نحوه تغییرات مقدار فرسایش خاک حوضه و رسوب وارد دریاچه یا سد خواهد شد. به این منظور مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی تغییرات شاخص‌های فرساینده‌گی باران و شدت فرساینده‌گی در مقیاس زمانی متفاوت (ماهانه، فصلی و سالانه) انجام شد تا نتایج حاصل از این بررسی بتواند مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان برای اتخاذ تصمیمات صحیح مدیریتی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه یکی از زیر حوضه‌های زاینده‌رود تحت عنوان مندرجان (پارسل B2) و در محدوده استان اصفهان است. این منطقه بین طول جغرافیایی $50^{\circ} 16' 07''$ و $50^{\circ} 34' 34''$ ؛ عرض جغرافیایی $32^{\circ} 12' 45''$ و $32^{\circ} 48' 56''$ شمالی و در غرب اصفهان قرار دارد (شکل ۱). مساحت منطقه در حدود ۲۱۱۰۰ هکتار است (۳۱). ارتفاع حداکثر حوزه آبخیز کوه داران با ارتفاع ۳۶۴۲ و ارتفاع حداقل ۲۱۰۰ متر در نقطه

کوکریجینگ نقشه فرساینده‌گی استان لرستان تهیه کردند. نیک کامی و مهدیان (۳۳) با بررسی رابطه میان هدررفت خاک و شاخص‌های مختلف فرساینده‌گی، شاخص EI_3 را به عنوان بهترین شاخص انتخاب کردند و سپس با بررسی رابطه میان این شاخص و دیگر پارامترهای بارش و شاخص‌های فرساینده‌گی زود یافت باران، شاخص فورنیه به عنوان بهترین شاخص همبسته انتخاب شد. در نهایت با ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی روش اسپلاین را به عنوان بهترین روش انتخاب و اقدام به پهنه‌بندی فرساینده‌گی در سراسر کشور کردند. ذبیحی و همکاران (۴۹) به منظور پهنه‌بندی عامل فرساینده‌گی در کشور ایران اقدام به ارزیابی وضعیت فرساینده‌گی ایران در مقیاس‌های زمانی متفاوت کردند. آنها در این تحقیق از ۷۰ ایستگاه برای پهنه‌بندی عامل فرساینده‌گی در سطح کشور استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار عامل فرساینده‌گی مربوط به آذرماه و کمترین مقدار آن مربوط به خردادماه است. کاویان و همکاران (۱۸) برای پهنه‌بندی عامل فرساینده‌گی باران در استان کرمان اقدام به برآورد و مدل‌سازی شاخص EI_3 در ۱۷ ایستگاه باران‌نگار کردند. بعد از برآورد میزان شاخص فرساینده‌گی در ۳۵ ایستگاه باران‌سنجی، برای پهنه‌بندی این شاخص اقدام به ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی کردند که در نهایت روش کریجینگ ساده (Simple Kriging) به عنوان بهترین روش انتخاب و نقشه فرساینده‌گی برای این استان تهیه شد. محمدی و همکاران (۳۰) به منظور ارزیابی فرساینده‌گی باران، حوزه آبخیز مندرجان را مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعه خود به کمک شاخص فورنیه اصلاح شده عامل فرساینده‌گی این حوضه را با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه ۱۴ ایستگاه با دوره آماری ۱۱ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۰) را به صورت سالانه برآورد کردند. نتایج نشان داد که متوسط عامل فرساینده‌گی در این حوضه ۱۱۲ مگازول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر سال است.

اکثر مطالعات صورت گرفته برای تخمین عامل فرساینده‌گی باران به خصوص در کشور ایران بیانگر ارزیابی پتانسیل



شکل ۱. الف) نقشه کشور ایران، ب) موقعیت حوضه در استان اصفهان و ج) حوزه آبخیز مندرجان (پارسل B_۲)

رطوبتی زریک (Xeric) هستند. خاک‌های توسعه یافته در این حوضه بر اساس نوع فرایندهای خاک‌سازی (Soil forming processes) و میزان تأثیرگذاری عامل‌های خاک‌ساز (Soil forming factors) به‌طور عمده در چهار رده خاک به‌ترتیب در رده خاک‌های جوان انتی‌سولز (Entisols) با حداقل توسعه و تکامل، خاک‌های رده اینسپتی‌سولز (Inceptisols) با تکامل اندک و افق B تحت الارضی کامبیک (Cambic Horizon)، خاک‌های با پوشش گیاهی مرتعی به‌نسبت مناسب که حاوی ماده آلی با افق مشخصه سطح الارض مالیک اپی‌پدن (Mollic Epipedon) و به‌نسبت متکامل در رده خاک‌های مالی‌سولز (Mollisols) و خاک‌های تکامل یافته با افق تحت‌الارضی آرگیلیک (Argillic Horizon) که در رده خاک‌های آلفی‌سولز (Alfisols) قرار می‌گیرند (۲۹). خاک‌ها از نظر بافت به‌گونه‌ای توزیع شده‌اند که در دامنه‌ها و اراضی شیب‌دار به‌طور عمده لومی سیلتی و با حساسیت زیاد نسبت به

خروجی حوزه آبخیز در محل روستای مندرجان است و ارتفاع متوسط حوزه با استفاده از روش هیپسومتری ۲۴۳۰ متر از سطح دریا برآورد شده است. مهم‌ترین عامل در فرسایش خاک و جابه‌جایی مواد، جریان‌های سطحی است که منبع اصلی آن ریزش‌های جوی است و متوسط بارش منطقه ۴۰۰ میلی‌متر است. بارندگی‌های اصلی حوزه مورد مطالعه و نواحی اطراف آن، سیستم باران‌زایی است که متأثر از جریان‌های جوی مدیترانه‌ای (منشأ اصلی) که از غرب، شمال غرب و یا جنوب غرب وارد منطقه شده و به‌مدت ۸ ماه از اول مهرماه تا اوایل خردادماه حوزه آبخیز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. حوزه آبخیز موردنظر دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد است (۲۹). با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعاتی در محدوده زاگرس مرکزی است و دارای آب و هوای نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد است (۲۹)، بر اساس سیستم طبقه‌بندی خاک آمریکایی (Soil Taxonomy) خاک‌های منطقه دارای رژیم حرارتی مزیک (Mesic) و رژیم

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌ها و میانگین درازمدت I_r و EI_r در هر ایستگاه

شماره	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	X-UTM	Y-UTM	میانگین I_r	میانگین EI_r
۱	فریدون‌شهر	باران‌نگار	۲۵۳۰	۴۱۸۰۸۰	۳۶۴۵۰۶۳	۵/۲۹	۱۲/۶۴
۲	سد زاینده‌رود	باران‌نگار	۲۱۰۴	۴۷۵۸۲۷	۳۶۲۱۹۳۹	۵/۰۶	۹/۷۵
۳	بویین و میاندشت	باران‌نگار	۲۴۱۰	۴۲۱۶۱۰	۳۶۶۰۶۵۷	۶/۲۵	۱۴/۱
۴	حنا	باران‌نگار	۲۳۳۲	۵۶۹۰۰۲	۳۴۵۱۶۶۵	۴/۹۴	۱۰/۴۵
۵	هونجان	باران‌نگار	۲۳۰۰	۵۸۲۴۹۰	۳۴۹۷۳۲۵	۴/۸۶	۸/۰۹
۶	مورچه‌خورت	باران‌نگار	۱۶۷۰	۵۴۴۶۹۲	۳۶۶۱۱۲۱	۵/۰۶	۷/۳۹

زمانی یک دقیقه‌ای شش ایستگاه اطراف حوزه آبخیز مندرجان برای محاسبه متوسط ماهانه عامل فرساینده استفاده شد (جدول ۱). این عامل از متوسط مجموع فرساینده‌های رخدادها باران در هرماه برای یک دوره آماری ۱۱ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۴) به‌وسیله رابطه (۱) به‌دست می‌آید (۴۴):

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{K=1}^{mj} (EI_r)_K \quad (1)$$

در اینجا n تعداد سال‌های آماری، m_j تعداد حوادث فرساینده برای ماه j ، EI_r میزان فرساینده‌ی باران برای رخداد K ، R متوسط ارزش ماهیانه فرساینده‌ی برحسب مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر ماه برای دوره آماری است. فرساینده‌ی باران برای هر رخداد بارش مطابق فرمول EI به‌دست می‌آید:

$$EI = EI_r = \left(\sum_{r=1}^n e_r v_r \right) I_r \quad (2)$$

که I_r حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای در طول یک رخداد بارش، e_r انرژی جنبشی برحسب مگاژول بر هکتار بر میلی‌متر و v_r ارتفاع بارندگی برحسب میلی‌متر در طی دوره‌های تقسیم‌شده برای رخداد بارش است. برای محاسبه e_r فرمول‌های متفاوتی ارائه شده است که در این مطالعه از فرمول براون و فوستر (۷) برای مدل به‌صورت e_r استفاده شد:

$$e_r = 0.29 \left[1 - 0.72 \exp(-0.05 i_r) \right] \quad (3)$$

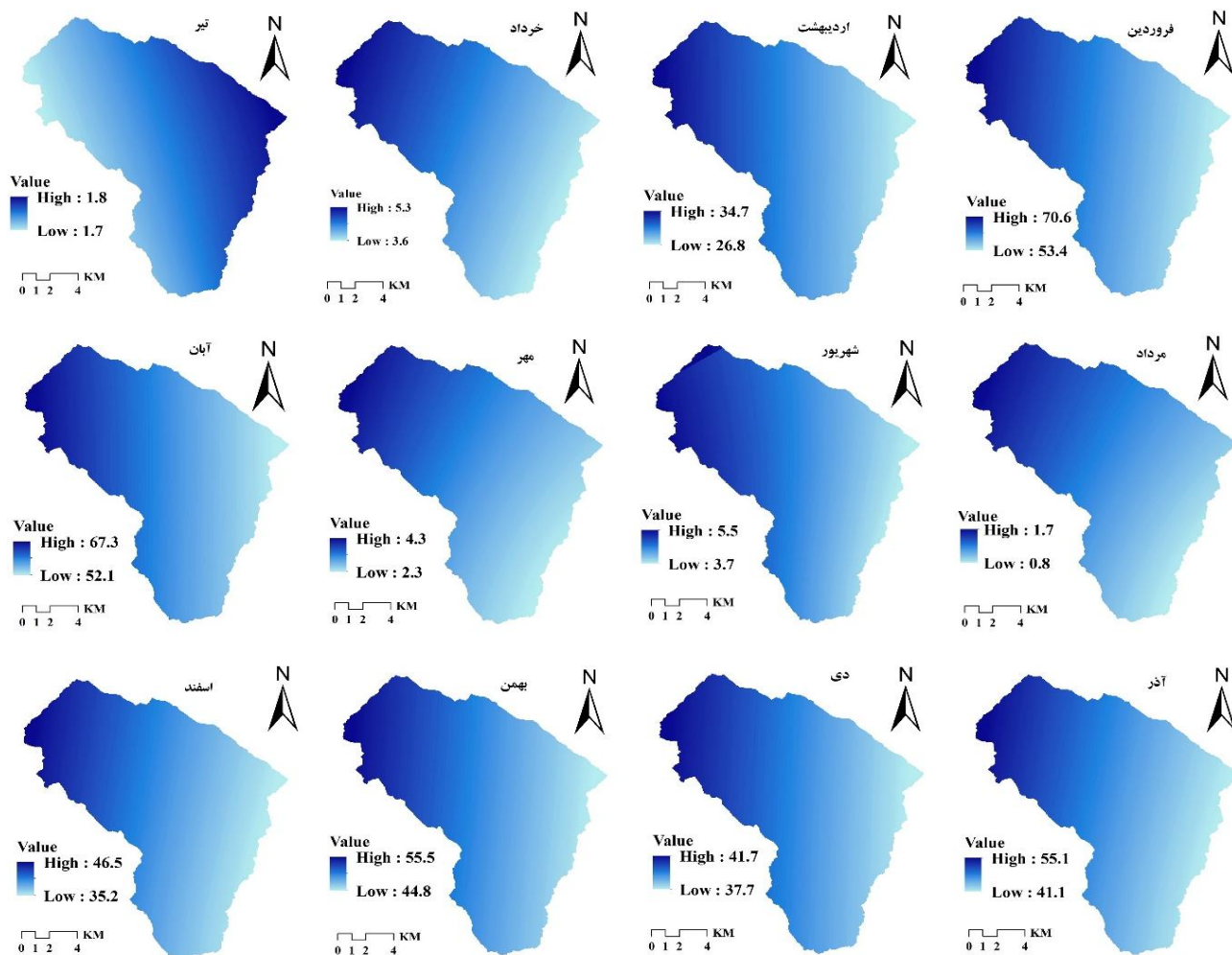
در این فرمول i_r شدت بارندگی در طی دوره‌های زمانی

عامل‌های فرساینده و دارای فرسایش‌پذیری نسبتاً زیاد هستند، به‌خصوص خاک‌های واقع در اراضی تحت عملیات شخم و شیار و اراضی مرتعی که بیشتر از ظرفیت تحت چرا هستند (۳۱). بافت خاک‌ها در اراضی مسطح سنگین‌تر از دامنه‌ها است و به‌طور عمده در کلاس بافتی لومی رسی قرار دارند. ساختمان خاک در مکان‌های با پوشش گیاهی مرتعی و کمتر تحت تأثیر مدیریت انسان از درجه پایداری به‌نسبت قوی برخوردارند و خاک‌ها دارای وزن مخصوص ظاهری کم هستند و این در حالی است که ساختمان خاک در اراضی تحت تأثیر چرای مفرط و متأثر از عملیات کشت و کار به‌طور عمده تخریب‌شده و دارای ساختمان توده‌ای و وزن مخصوص ظاهری به‌نسبت بالا هستند. در قسمت شمال و شمال غرب حوزه آبخیز مندرجان کوه‌های آهکی که دارای لایه‌های مارن (آهک-رس) نیز است وجود داشته که تشکیل‌دهنده تپه‌های اسلیتی بوده است؛ بنابراین تحت تأثیر عملیات کشاورزی کمتر قرار گرفته و عمدتاً از خاک لخت و بدون پوشش تشکیل شده‌اند.

داده‌ها و روش کار

۱- شاخص فرساینده‌ی متوسط ماهیانه

مفهوم عبارت فرساینده‌ی باران توسط ویشمایر و اسمیت (۴۴)، به‌منظور لحاظ تأثیر اقلیم بر فرسایش خاک در غالب شاخص EI_r ارائه شد. فرساینده‌ی باران در این شاخص به‌عنوان عامل R در مدل تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) بیان می‌شود. در این مطالعه از داده‌های بارش روزانه با مقیاس



شکل ۲. تغییرات ماهانه مقدار بارش منطقه حوزه آبخیز مندرجان (برحسب میلی‌متر)

شاخص بیانگر تأثیر زیاد بارش در میزان فرساینده‌گی است. این شاخص می‌تواند تغییرات زمانی شدت بارندگی یا نحوه ریزش آنها را در طی زمان بارش بیان کند (۱۰). برای مثال از نوع بارش‌هایی با شدت زیاد و مدت کم هستند. ارزش‌های بالا از این شاخص بیانگر این است که فرساینده‌گی منحصرأ به میزان بارش بستگی ندارد (۳۵).

همچنین برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای گفته شده (شاخص‌های محاسبه‌شده با استفاده از ایستگاه‌های اطراف حوضه) به اطلاعات ناحیه‌ای در محیط نرم‌افزار ArcGIS از تکنیک‌های درونیابی استفاده شد. برای این منظور پس از محاسبه شاخص فرساینده‌گی باران، این مقادیر برای شش ایستگاه با استفاده از روش‌های مختلف درونیابی از جمله مجذور عکس فاصله

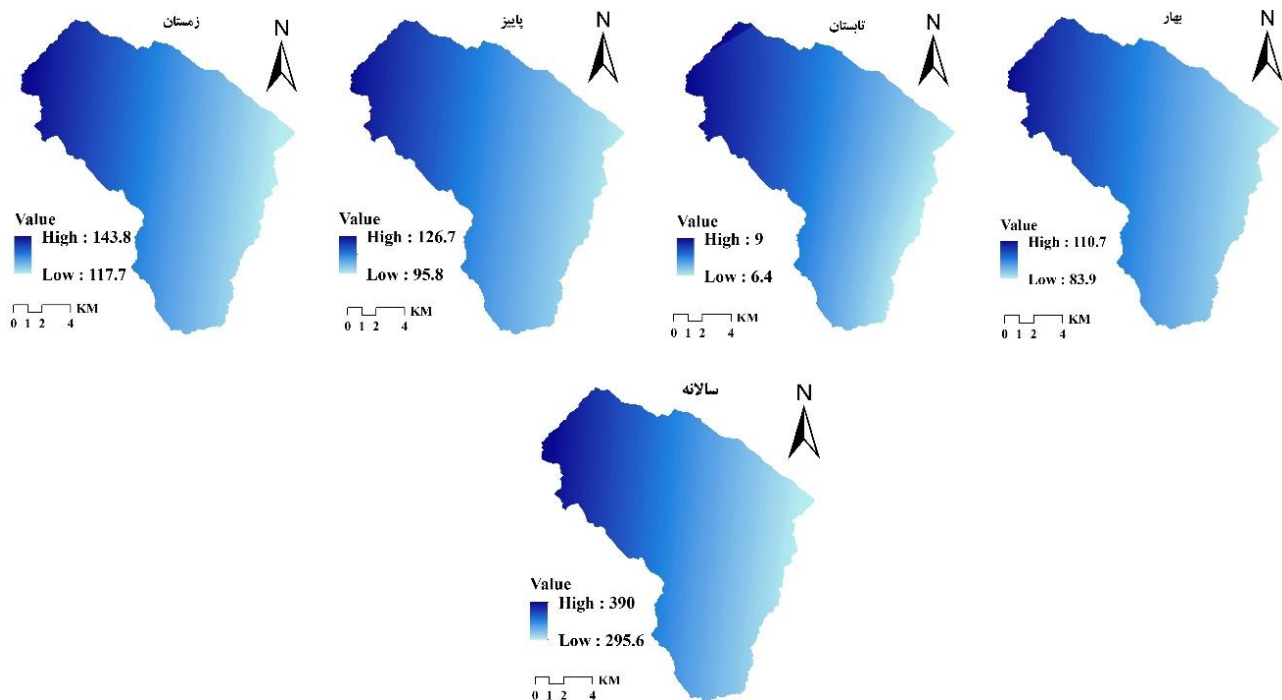
تقسیم شده برحسب میلی‌متر بر هکتار است. در شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات بارش در مقیاس‌های زمانی متفاوت مشاهده می‌شود.

۲- شاخص تراکم فرساینده‌گی ماهیانه بارش

شاخص تراکم بارش برای همراه طبق فرمول ارائه شده توسط فوستر و همکاران (۱۱) از طریق نسبت میان فرساینده‌گی متوسط ماهیانه به بارش متوسط ماهیانه به صورت زیر به دست آمد:

$$ED_{mo} = \frac{R_{mo}}{P_{mo}} \quad (4)$$

در اینجا R_{mo} بیانگر فرساینده‌گی ماهیانه برحسب مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر ماه و P_{mo} بارش ماهیانه برحسب میلی‌متر است. مقادیر کوچک این شاخص بیانگر تأثیرات کم بارش بر میزان فرساینده‌گی و مقادیر بالای این



شکل ۳. تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش حوزه آبخیز مندرجان (برحسب میلی متر)

فصلی و سالانه تشریح شد.

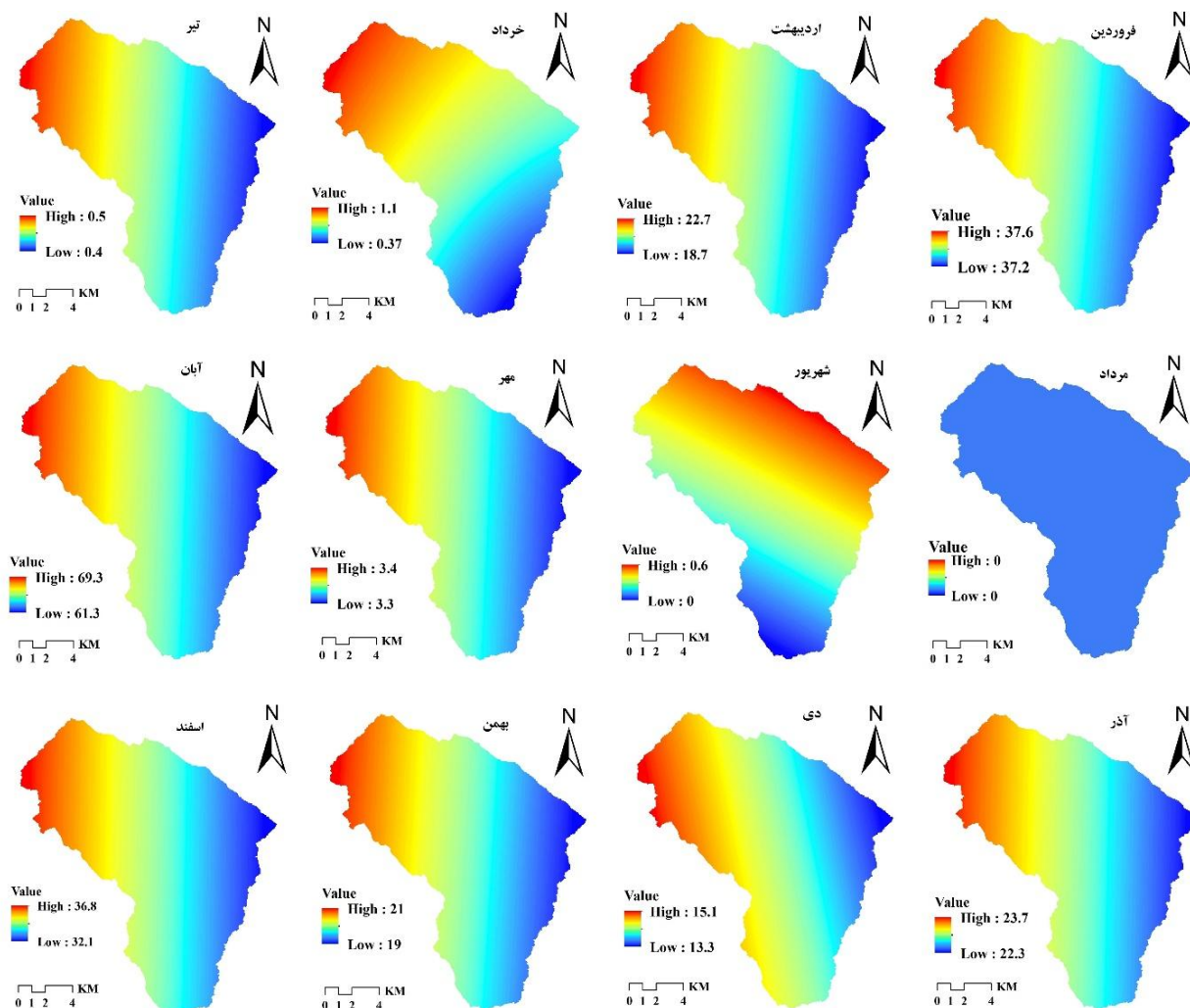
فرساینده باران

نتایج نشان داد که نحوه تغییرات شاخص فرساینده در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های سال روند خاصی را دنبال می‌کند و تقریباً ثابت است. همان‌طور که روند تغییرات ماهانه مقدار شاخص فرساینده باران در حوزه آبخیز مندرجان در شکل ۴ نمایش داده شده است. مقدار فرساینده باران در ماه‌های مختلف در غرب و شمال غربی بیشترین مقدار و در جنوب شرقی و شرق کمترین مقدار خود را دارد. اگرچه در ماه شهریور این روند با ماه‌های دیگر تفاوت جزئی دارد به این معنی که در شهریور روند تغییرات در شمال حوضه بیشترین مقدار و در جنوب حوضه کمترین مقدار خود را دارد. همچنین در طول دوره آمار در مردادماه در سطح حوضه مندرجان هیچ‌گونه بارندگی فرساینده که سبب فرسایش خاک شود مشاهده نشد؛ بنابراین در این ماه عامل شاخص باران عملاً وجود ندارد و مقدار آن برابر با صفر خواهد بود.

(IDW)، توابع پایه شعاعی (RBF)، چند جمله‌ای‌ها (Polynomial) و روش‌های مختلف کریجینگ از جمله کریجینگ ساده (Simple Kriging)، کریجینگ عمومی (Kriging Universal) و کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging) مورد بررسی قرار گرفتند. در این میان برای هر ماه تمامی روش‌های درونیابی بررسی شده و در بین آنها روشی که کمترین مقدار خطا را داشته باشد به عنوان روش مناسب برای پهنه‌بندی انتخاب شد. این کار برای کل ماه‌ها و عامل‌ها به‌همین نحو انجام گرفت. لازم به ذکر است برای ارزیابی خطا هم از شاخص ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد.

نتایج

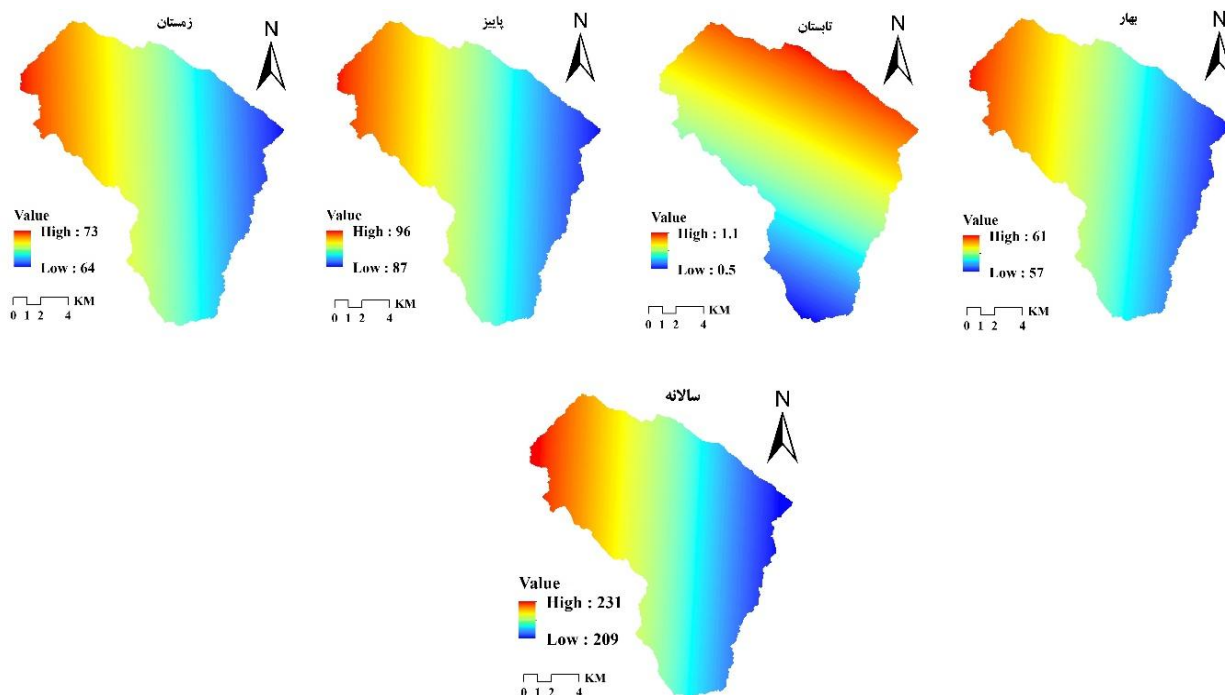
در این تحقیق، ابتدا نتایج حاصل از تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه عامل فرساینده در مقیاس زمانی فصلی، ماهانه و سالانه ارائه شد و سپس شاخص شدت فرساینده به صورت ماهانه، فصلی و سالانه ارائه شده و در بخش پایانی نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین دو شاخص به صورت ماهانه،



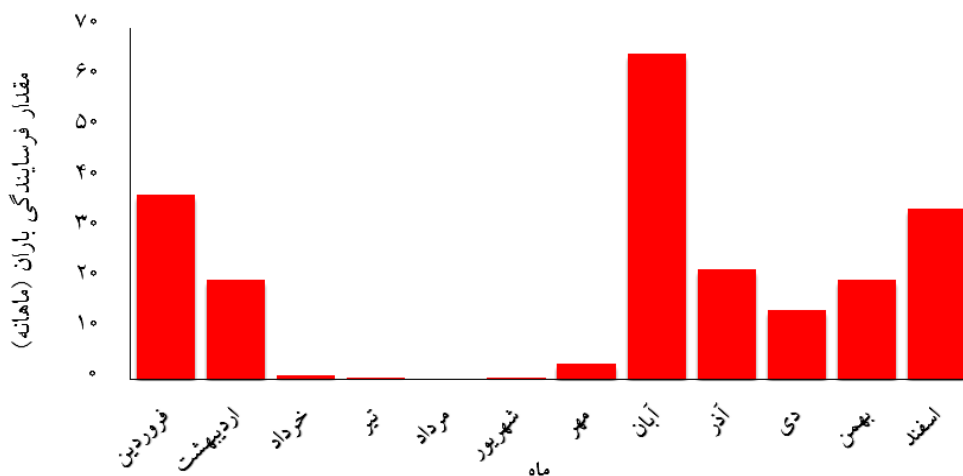
شکل ۴. تغییرات ماهانه مقدار عامل فرساینده باران (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر ماه) در حوزه آبخیز مندرجان

شکل ۶ قابل مشاهده است که نتایج حاکی از آن است که بیشترین مقدار فرساینده در ماه آبان با متوسط فرساینده ۶۵ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر ماه) و بعد از آن به ترتیب مربوط به ماه‌های فروردین و اسفند است، در حالی که کمترین مقدار فرساینده مربوط به ماه مرداد با مقدار صفر و بعد از آن مربوط به ماه‌های شهریور و تیر است. مقدار شاخص فرساینده آبان‌ماه حدود ۳۰ درصد از کل فرساینده سالانه باران را در برمی‌گیرد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار شاخص فرساینده در فصل پاییز است که حدود ۴۱ درصد کل فرساینده سال را تشکیل می‌دهد. به ترتیب بعد از فصل پاییز، فصل زمستان با ۳۱ درصد و بهار با ۲۶ درصد رتبه‌های بعدی مقدار فرساینده را

فرساینده در فصل‌های مختلف از مجموع فرساینده ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد (فصل بهار)، ماه‌های تیر، مرداد و شهریور (فصل تابستان)، ماه‌های مهر، آبان و آذر (فصل پاییز) و ماه‌های دی، بهمن و اسفند (فصل زمستان) به دست آمد (شکل ۵). روند تغییرات این شاخص در فصل‌های مختلف به جز فصل تابستان تقریباً ثابت است؛ بدین صورت که بیشترین مقدار آن در غرب و کمترین مقدار آن در شرق حوزه است و هرچه از شرق حوزه به طرف غرب حوزه حرکت کنیم این عامل افزایش پیدا می‌کند، اما در فصل تابستان بیشترین و کمترین مقدار فرساینده باران در حوزه به ترتیب مربوط به نواحی شمال و جنوبی حوزه است (شکل ۵). همچنین مقدار متوسط ماهانه شاخص فرساینده در



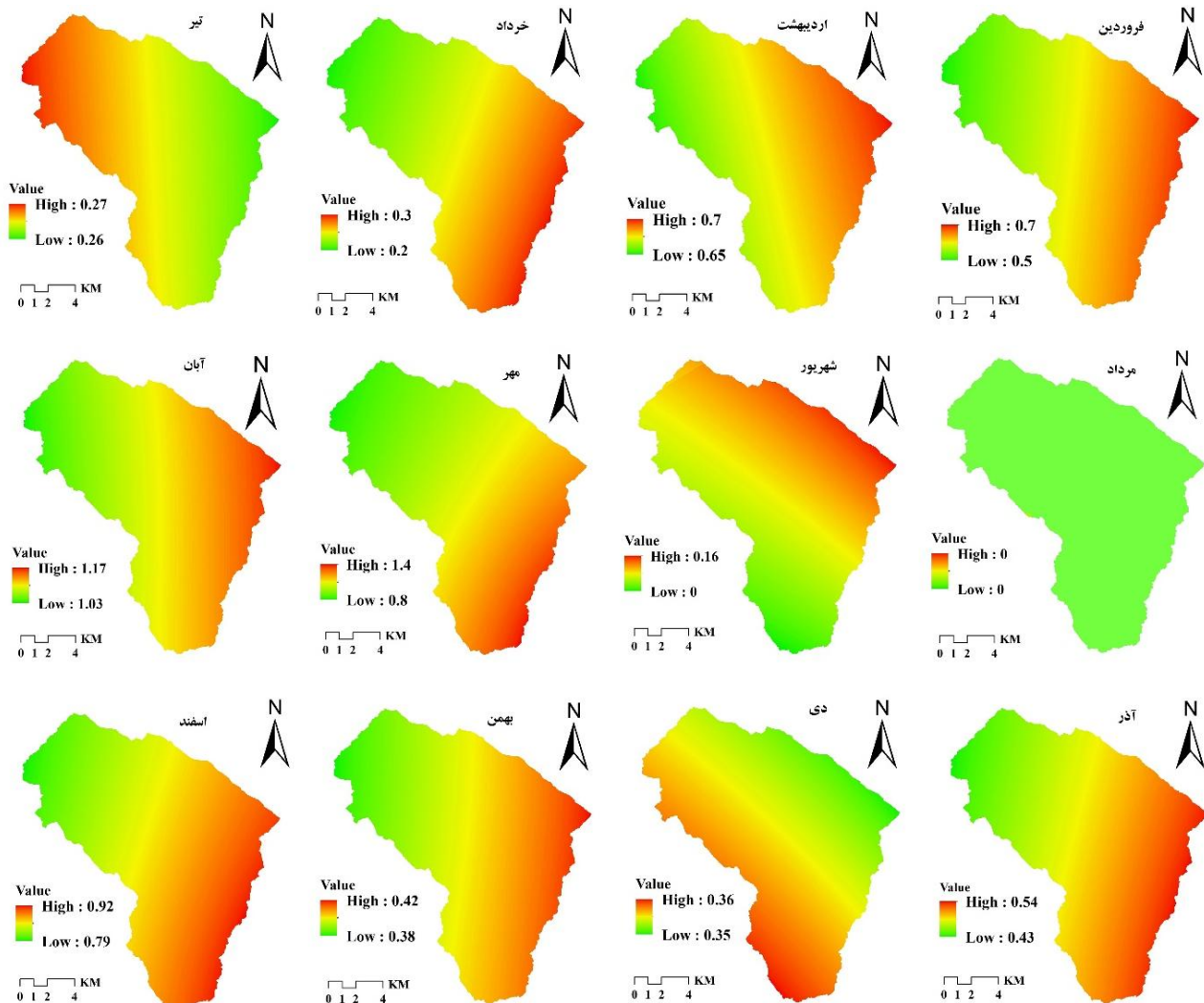
شکل ۵. تغییرات فصلی و سالانه مقدار عامل فرساینده (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت)



شکل ۶. تغییرات ماهانه متوسط فرساینده باران (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر ماه) در حوزه آبخیز مندرجان

مقدار این شاخص برای حوزه بین ۲۰۹ تا ۲۳۱ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت در سال) متغیر است و هر چه از طرف شرق حوزه به طرف غرب حرکت کنیم مقدار این شاخص به صورت پیوسته افزایش پیدا می‌کند. همچنین مقدار متوسط سالانه این شاخص برای حوزه ۲۲۰ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت در سال) در سال است.

به خود اختصاص دادند. در این میان فصل تابستان کمترین درصد از مقدار فرساینده کل را در سال (کمتر از یک درصد) شامل می‌شود. از مجموع مقدار شاخص فرساینده باران در هر فصل (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) شاخص فرساینده باران به صورت سالانه در طول دوره آماری برای منطقه مطالعاتی به دست آمد (شکل ۵). نتایج نشان داد که

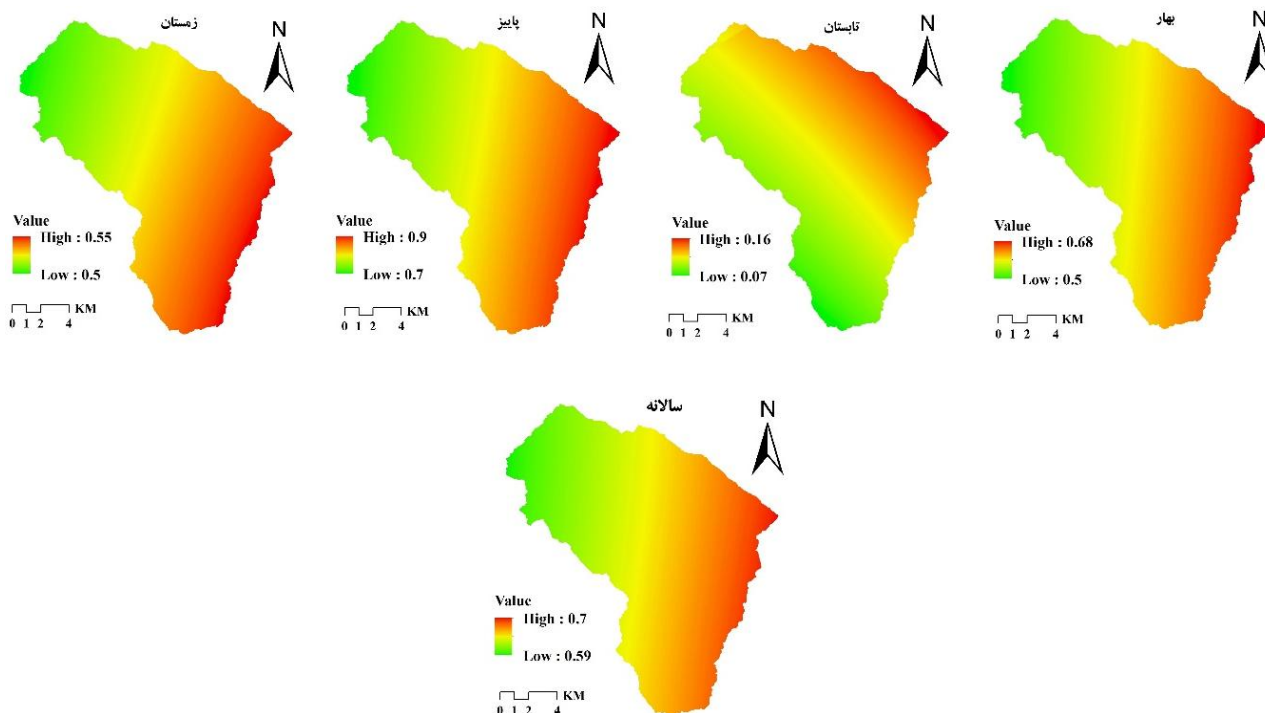


شکل ۷. تغییرات ماهانه تراکم فرساینده‌گی باران (مگاژول بر هکتار بر ساعت) در حوزه آبخیز مندرجان

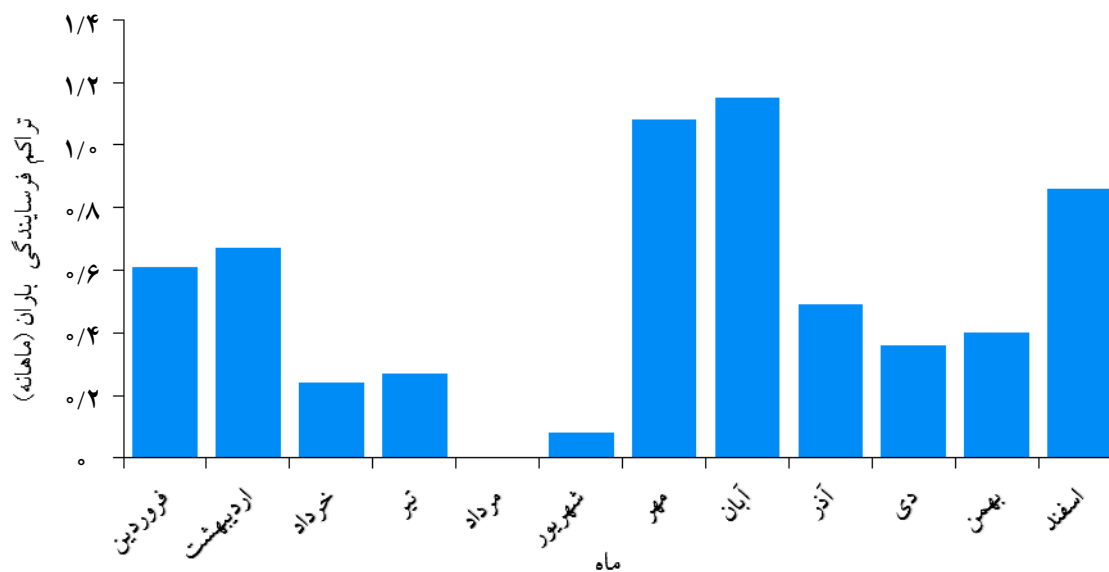
تراکم فرساینده‌گی

تراکم فرساینده‌گی می‌تواند برای مقایسه بهتر تعیین نوع رخدادهای بارش (برای مثال بارش با مقدار کم و شدت زیاد یا بارش با مقدار زیاد و شدت کم که بالطبع ممکن است اطلاعات حاصل از یک میزان ارزش از فرساینده‌گی باران یا شاخص EI_{30} را ارائه دهد) می‌تواند مؤثر واقع شود. این قدرت آشکارسازی به ارزیابی پیامدهای احتمالی فرساینده‌گی باران در مقیاس‌های زمانی متفاوت (ماه، فصل و سال) کمک می‌کند. تغییرات زمانی و مکانی نقشه تراکم فرساینده‌گی در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد تغییرات شاخص تراکم فرساینده‌گی روند خاصی را دنبال نمی‌کند؛ در ماه‌های فروردین، اردیبهشت،

خرداد، مهر، آبان، آذر، بهمن، اسفند هرچه به سمت غرب حوزه برویم مقدار تراکم فرساینده‌گی کاهش پیدا می‌کند و بیشترین مقدار این شاخص در قسمت شرق حوزه است. همچنین در ماه‌های شهریور و دی روند متفاوت با دیگر ماه‌ها را نشان می‌دهد. در شهریور در قسمت دامنه شمالی حوزه مقدار این شاخص زیاد و در قسمت‌های جنوبی مقدار این شاخص کم است ولی در دی ماه برعکس شهریورماه، مقدار این شاخص در قسمت‌های شمالی حوزه کم و در قسمت‌های جنوبی حوزه زیاد است. بررسی متوسط تغییرات ماهانه این شاخص نشان می‌دهد ماه آبان با متوسط $1/1$ (مگاژول بر هکتار بر ساعت) بیشترین تراکم فرساینده‌گی و بعد آن به ترتیب ماه‌های



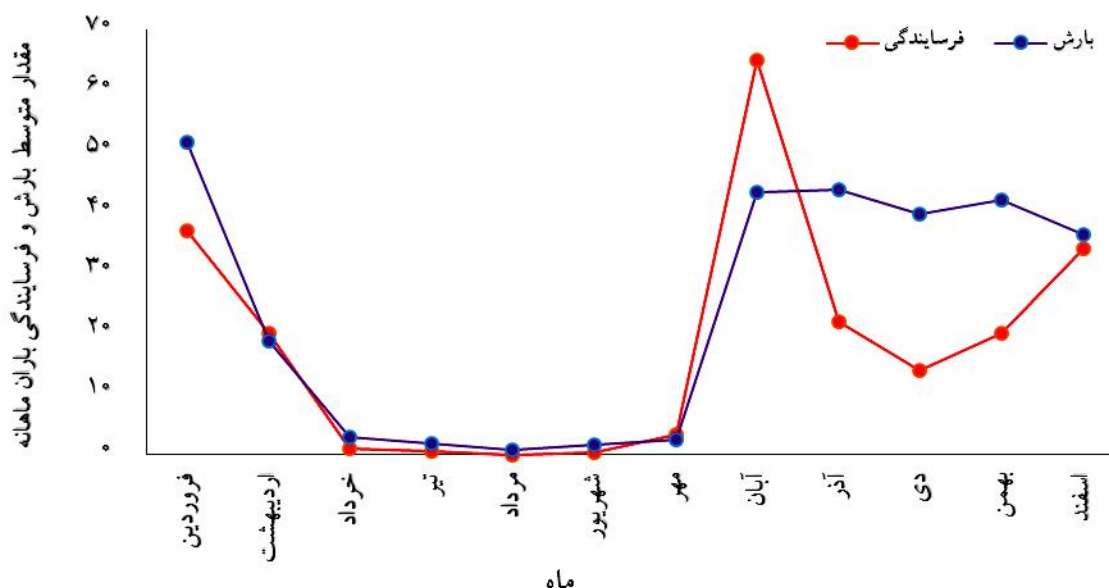
شکل ۸ تغییرات فصلی و سالانه تراکم فرساینده باران (مگاژول بر هکتار بر ساعت) در حوزه آبخیز مندرجان



شکل ۹ تغییرات ماهانه متوسط تراکم فرساینده باران (مگاژول بر هکتار بر ساعت) در حوزه آبخیز مندرجان برحسب (مگاژول بر هکتار بر ساعت)

فرساینده ماهانه، این شاخص در مقیاس فصلی و سالانه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۸). نتایج نشان داد که مقدار شاخص تراکم در فصل پاییز بیشترین مقدار خود را در بین فصل‌های سال دارد و در فصل تابستان کمترین مقدار را در بین

مهر و اسفند بیشترین مقدار تراکم فرساینده را دارند. همچنین کمترین مقدار متوسط تراکم فرساینده مربوط به مرداد ماه با مقدار صفر و بعد از آن به ترتیب مربوط به ماه‌های شهریور و خرداد است (شکل ۹). همچنین با مجموع مقدار شاخص تراکم



شکل ۱۰. تغییرات ماهانه متوسط مقدار بارندگی و تراکم فرساینده در حوزه آبخیز مندرجان برحسب (مگاژول بر هکتار بر ساعت)

فصل‌های سال دارد. روند تغییرات شاخص تراکم فرساینده به صورت فصلی در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان روند ثابتی را دنبال می‌کند و از سمت شرق به غرب کاهش پیدا می‌کند. بیشترین مقدار این شاخص در این فصل‌ها در قسمت‌های شرق حوضه و کمترین مقدار آن در قسمت‌های غرب حوضه مشاهده می‌شود. در فصل تابستان بیشترین مقدار این شاخص مربوط به دامنه شمالی حوضه و کمترین مقدار آن مربوط به قسمت‌های جنوبی حوضه است. ارزیابی شاخص تراکم فرساینده به صورت سالانه نشان داد که این شاخص بین ۰/۷ تا ۰/۵۹ (مگاژول بر هکتار بر ساعت) تغییر می‌کند. بیشترین مقدار این شاخص به صورت سالانه مربوط به قسمت‌های جنوب شرقی و شرق حوضه و کمترین مقدار آن مربوط به شمال غربی و غرب حوضه است (شکل ۸).

فرساینده، عامل تراکم فرساینده نیز بالا بوده و باران در این ماه‌ها قدرت فرساینده شدیدتری نسبت به سایر ماه‌های سال دارد. به عبارت دیگر، علاوه بر بالا بودن ریزش‌های جوی در این ماه‌ها، نوع بارش نیز به شکل رگباری و شدید است، بنابراین احتمال هدررفت خاک بیشتر است (شکل ۱۰). در مقابل کمترین خطر فرساینده باران در ماه‌های مرداد و شهریور اتفاق می‌افتد، زیرا در این ماه‌ها علاوه بر پایین بودن مقدار فرساینده باران، مقدار شاخص تراکم نیز پایین است، یعنی در این ماه‌ها یا بارش اتفاق نمی‌افتد یا در صورت وقوع به صورت رگباری نیست و به شکل ملایم ریزش می‌کند، در نتیجه در اثر برخورد ملایم قطرات باران بر سطح خاک تخریب خاکدانه انجام نمی‌گیرد، زیرا تنش برشی حاصل از عامل فرساینده (قطرات باران) بر مقاومت برشی خاکدانه‌ها نمی‌تواند غلبه کند و به عبارتی مرحله اول فرسایش خاک "کنش جداسازی" اتفاق نمی‌افتد و بارش باریده شده به آرامی در توده خاک نفوذ می‌کند و عملاً بار رسوبی ایجاد نمی‌شود و میزان فرسایش خاک حداقل خواهد بود. مطابق شکل ۱۰ ماه‌هایی که متوسط فرساینده باران (خط قرمز) بالاتر از متوسط بارندگی (خط بنفش) قرار می‌گیرد ماه‌هایی هست که

ارتباط بین فرساینده و تراکم فرساینده باران نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین مقدار فرسایش خاک در ماه‌های آبان و اسفند اتفاق می‌افتد زیرا فرساینده باران به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل ایجاد فرسایش آبی در این ماه‌ها مقدار آن زیاد است، همچنین علاوه بر بالا بودن عامل

ارتباط بین فرساینده و تراکم فرساینده باران

فرسایش خاک

اطراف آن است که سبب شده تا رژیم بارش در آفریقای جنوبی و مطالعه حاضر با هم تفاوت داشته باشد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار شاخص فرساینده‌گی در فصل‌های پاییز و زمستان است که با تحقیقات انجام گرفته در اروپا توسط پاناگوس و همکاران (۳۵) همخوانی دارد. همچنین ذیحی و همکاران (۴۹) در تحقیقی که برای پهنه‌بندی فرساینده‌گی ایران انجام دادند بیان کردند که مقدار عامل فرساینده‌گی در مناطق غربی کشور در آبان‌ماه زیاد است که نتایج به‌دست آمده این پژوهش را تایید می‌کند. بررسی نتایج نشان داد که کمترین مقدار شاخص فرساینده‌گی در ماه تابستان بود که این بخش از نتایج با پژوهش‌های انجام گرفته توسط مسعودیان (۲۷)، نیک‌کامی و مهدیان (۳۳)، ذیحی و همکاران (۴۹) که بیان کردند در تابستان قسمت عمده کشور کمترین مقدار شاخص فرساینده‌گی و بارش را در طول سال دارند مطابقت دارد. در قسمتی از حوضه چنانچه مقدار شاخص فرساینده‌گی بالا و مقدار شدت تراکم فرساینده‌گی نیز بالا باشد، پتانسیل آن منطقه برای تولید رواناب و جدا کردن ذرات خاک از سطح خاک و تخریب خاکدانه‌ها زیاد خواهد بود. دو شاخص فرساینده‌گی باران و تراکم فرساینده‌گی خطر سیل و به‌تبع آن خطر هدررفت آب را بیان می‌کنند که سبب ایجاد رواناب و هدررفت خاک خواهد شد. از آنجایی که سازندهای این زیرحوضه اغلب دارای آهک و بافت خاک آن غالباً سیلتی است. بنابراین حساسیت خاک آن در برابر هدررفت زیاد است. با توجه به موارد ذکر شده در قسمت‌های غربی حوضه به‌دلیل بالا بودن مقادیر بارش و شدت فرساینده‌گی انتظار می‌رود خطر فرسایش خاک بیشتر باشد، اما باید ذکر شود که فرسایش خاک منطقه تنها به فرساینده‌گی و تراکم فرساینده‌گی وابسته نبوده زیرا عواملی مانند پوشش گیاهی، فرسایش‌پذیری خاک و پستی‌وبلندی سطح منطقه در میزان فرسایش خاک حوضه موثر است و درنهایت جمعی از عوامل مقدار نهایی فرسایش خاک حوضه را تعیین می‌کنند. به‌صورت کلی با بررسی فرساینده‌گی باران در حوضه و همچنین با ثابت در نظر گرفتن سایر عوامل

شدت فرساینده‌گی زیاد و احتمال وقوع سیل و فرسایش خاک خیلی زیاد است. در این میان اگرچه در ماه‌های آذر و دی و بهمن مقدار بارندگی زیاد بوده اما خطر وقوع سیل‌خیزی و فرسایش خاک نسبت به ماه آبان کمتر است زیرا شدت ریزش‌های جوی در ماه‌های گفته شده نسبت به اوایل پاییز کمتر است.

بحث

مطالعات زیادی در رابطه با شاخص فرساینده‌گی در مقیاس قاره‌ای مانند اروپا (۳۵) و آفریقا (۴۲)، در مقیاس ملی مانند سوئیس (۳۹)، کیب ورد (۲۶)، شیلی (۵)، دانمارک (۲۵)، ایران (۳۳، ۳۶، ۳۷، ۳۸ و ۴۹) ایتالیا (۶)، نیوزلند (۱۹)، جنوب کره (۲۳) و در سطح منطقه‌ای برای استرالیا (۴۵ و ۴۶)، چین (۴۳، ۵۰ و ۵۱)، ایتویپی (۲۸)، ژاپن (۲۰)، ایتالیا (۴۱) و آمریکا (۴۵) انجام گرفته است. به‌دلیل اقلیم و موقعیت مکانی متفاوت در مناطق مختلف کره زمین، مقدار حداکثر و حداقل فرساینده‌گی به‌طور قابل توجهی متفاوت است. بعضی از مطالعات ذکر شده بالاترین ارزش را در ماه تیر (۴۰) و در بعضی مطالعات بالاترین ارزش در آذر و اسفند و کمترین ارزش در تیر و مرداد (۳۳، ۳۶، ۳۷ و ۴۹) و یا بالاترین ارزش در دی‌ماه و کمترین ارزش در تیرماه (۴۶ و ۴۷) نشان می‌دهند. با مقایسه نتایج شاخص فرساینده‌گی منطقه مورد مطالعه با سایر مطالعات انجام گرفته اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین مقدار حداکثر و حداقل عامل فرساینده‌گی در ماه‌های مختلف مشاهده می‌شود. این اختلاف به‌خاطر عواملی مانند اقلیم، جبهه‌های هوایی بارش، موقعیت جغرافیایی مناطق مختلف است به‌طوری که در بعضی مطالعات انجام گرفته شاخص فرساینده‌گی بیشترین مقدار خود را در فصل تابستان دارد (۴۰) که برعکس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است. در مطالعه‌ای (۴۰) که در آفریقای جنوبی انجام شده است بیشترین مقدار فرساینده‌گی باران را در فصل تابستان ذکر کرده‌اند زیرا بیشتر ریزش‌های جوی آن در ماه‌های تابستان بوده و دلیل آن وجود سواحل در

ارتباط آن با شاخص تراکم فرساینده‌گی در حوزه آبخیز مندرجان انجام گرفت. بررسی شاخص تراکم فرساینده‌گی باران در کنار شاخص فرساینده‌گی به‌عنوان راهکاری برای آشکارسازی بهتر نقش مقدار بارش در ترکیب با شدت آن برای مطالعات فرسایش خاک مؤثر است. نتایج حاصل از بررسی الگوی تغییرات مکانی فرساینده‌گی باران و تراکم فرساینده‌گی در مقیاس‌های زمانی مختلف در حوزه آبخیز مندرجان می‌تواند مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان برای اتخاذ تصمیمات صحیح مدیریتی قرار گیرد. شاخص تراکم بارندگی رابطه بین شدت بارندگی و مقدار بارندگی یک ناحیه را در ماه‌های مختلف یا فصول مختلف نشان می‌دهد. فرساینده‌گی باران در قسمت شمال غربی منطقه بیشترین مقدار خود را داراست که این امر از آن جهت که مناطق غرب و شمال غرب حوزه که از لحاظ کشاورزی حائز اهمیت هستند یک خطر جدی محسوب می‌شود، زیرا بدون توجه به عوامل مؤثر در فرسایش خاک، به‌صورت مداوم فرسایش خاک افزایش می‌یابد. با افزایش فرسایش خاک، ماده آلی از لایه سطحی خاک شسته شده و در نتیجه از یک طرف حاصلخیزی خاک و از طرف دیگر ضخامت خاک حاصلخیز یا افق ژنتیکی A کاهش می‌یابد، در نتیجه ضرر اقتصادی و اجتماعی به محصولات کشاورزی و آبخیزنشینان وارد می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند برای مدیریت کشاورزی حوزه آبخیز مندرجان (مانند انتخاب محصول و زمان کاشت)، ارزیابی خدمات اکوسیستم (مانند نقش پوشش گیاهی با ایجاد سناریوهای مختلف در فرسایش خاک)، پیش‌بینی مخاطرات فصلی و منطقه‌ای، کنترل سیل و مناطق سیل‌خیز مفید واقع شود.

مؤثر در فرسایش خاک حوضه انتظار می‌رود که مقدار فرسایش خاک در بخش‌های غربی بیشتر شود. در رابطه با تأثیر تغییرات پوشش گیاهی سطح زمین بر مقدار فرسایش خاک در حوزه آبخیز مندرجان می‌توان به مطالعه محمدی و همکاران (۳۱) اشاره کرد. در این مطالعه ذکر شده است که بیشترین مقدار فرسایش خاک مربوط به مناطق شمالی حوزه بوده زیرا این بخش از حوزه دارای شیب زیاد و سازندهای حساس و فاقد عامل حفاظت بوده است، بنابراین این عوامل به‌عنوان عوامل تنش برشی اعمال شده و بر عامل پوشش گیاهی غلبه کرده و در نتیجه باعث افزایش مقدار فرسایش خاک در قسمت‌های شمالی حوزه شده است. محمدی و همکاران (۳۰) در طی پژوهش خود متوسط مقدار شاخص فرساینده‌گی را برای حوزه آبخیز مندرجان ۱۱۲ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار بر ساعت در سال) ارزیابی کردند که با مقدار به‌دست آمده در این پژوهش اختلاف چشمگیری دارد. دلیل آن را می‌توان دوره آماری، مقیاس زمانی و روش مورد استفاده متفاوت دانست، زیرا در پژوهش محمدی و همکاران (۳۰) داده‌های ماهانه و روش فورنیه اصلاح شده برای ارزیابی عامل فرساینده‌گی مورد بررسی قرار گرفتند، اما در این پژوهش از داده‌های بارش یک دقیقه‌ای و شاخص EI_3 استفاده شده است، بنابراین روش و مقدار فرساینده‌گی به‌کار گرفته شده در این تحقیق از لحاظ قدرت تفکیک مکانی و زمانی دقیق‌تر و قابل اعتماد است.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی شاخص فرساینده‌گی باران در رابطه جهانی فرسایش خاک و

منابع مورد استفاده

1. Aguilar, E., A. A. Barry, M. Brunet, L. Ekan, A. Fernandes and M. Massoukina. 2009. Changes in temperature and rainfall extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of Geophysical Research* 114: 1-11.
2. Alipour, Z. T., M. H. Mahdian, E. Pazira, S. Bandarabadi and M. Saeidi. 2010. Efficiency comparison of common geostatistics methods with of fuzzy kriging method in preparing rainfall isoerodent map in namak lake watershed. *Watershed Management Research Journal* 86: 32-41 (in Persian).
3. Arekhi, S., Y. Niazi and A. M. Kalteh. 2012. Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS

- techniques: A case study, Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 5(2): 285-296.
4. Arnoldus, H. M. J. 2003. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation, PP. 127-132. In: De Boodt, M., D. Gabriels (Eds.), Assessment of Erosion, Chichester, New York.
 5. Bonilla, C. A. and K. L. Vidal. 2011. Rainfall erosivity in central Chile. *Journal of Hydrology* 410(1): 126-133.
 6. Borrelli, P., N. Diodato and P. Panagos. 2016. Rainfall erosivity in Italy: a national scale spatio-temporal assessment. *International Journal of Digital Earth* 9(9): 835-850.
 7. Brown, L. and G. Foster. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the ASAE* 30: 379-386.
 8. Da Silva, A. M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* 57: 251-259.
 9. Wiecheteck, M. and B. W. Zuercher. 2011. Spatial assessment of indices for characterizing the erosive force of rainfall in El Salvador Republic. *Environmental Engineering Science* 28: 309-316.
 10. Dabney, S. M., D. C. Yoder, D. Vieira and R. L. Bingner. 2011. Enhancing RUSLE to include runoff-driven phenomena. *Hydrological Processes* 25: 1373-1390.
 11. Foster, G. R., D. C. Yoder, G. A. Weesies, D. K. McCool, K. C. McGregor and R. Bingner 2008. Draft User's Guide, Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE-2), USDA, Washington.
 12. Fournier, F. 1960. Climate et Erosion; la Relation Entre L'erosion du Sol Par Leau et Les Precipitations Atmospheriques. First Edition. Presses Universitaires de France, Paris, 201 p. (In French).
 13. Gitas, I. Z., K. Douros, C. Minakou, G. N. Silleos and C. G. Karydas. 2009. Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSeL eProceedings* 8(1): 40-52.
 14. Hakim Khani, Sh. and A. Hakim Khani. 2010. Mapping erosivity for Lorestan province. *Journal of Watershed Management* 89: 62-79 (in Persian).
 15. Hoyos, N., P. R. Waylen. and A. Jaramillo. 2005. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology* 314: 177-191.
 16. Hudson, N. 1971. Soil conservation. Billing & Sons Ltd, Great Britain, 320 p.
 17. Jing, Z., Z. Xu-dong, Z. Jin-xing, Z. Xiao-ling. and W. Zhong-jian. 2009. Calculation and Characterization of Rainfall Erosivity in Small Watersheds of Hilly Region in Northwest Hunan (in Chinese). *Journal of Ecology Rural Environment* 25: 32-36.
 18. Kavian, A., G. Jafarian, A. Jahanshahifard. and M. Gulshan. 2016. Mapping rain erosivity in the Kerman province with geostatistical method. *Journal of Physical Geography Research* 48(1): 51-68 (in Persian).
 19. Klik, A., K. Haas, A. Dvorackova and I. C. Fuller. 2015. Spatial and temporal distribution of rainfall erosivity in New Zealand. *Soil Research* 53: 815-825.
 20. Laceby, J. P., C. Chartin, O. Evrard, Y. Onda, L. Garcia-Sanchez. and O. Cerdan. 2016. Rainfall erosivity in catchments contaminated with fallout from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Hydrology Earth System* 20: 2467-2482.
 21. Lai, C., C. Xiao Hong, W. Zhaoli, W. Xushu, Z. Shiwei. and W. Xiaoqing. 2016. Spatio-temporal variation in rainfall erosivity during 1960-2012 in the Pearl River Basin, China. *Catena* 137: 382-391.
 22. Lal, R. 1976. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria: Effects of rainfall characteristics. *Geoderma* 16(5): 389-401.
 23. Lee, J. S. and J. Y. Won. 2013. Analysis of the characteristic of monthly rainfall erosivity in Korea with derivation of rainfall energy equation. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 13: 177-184.
 24. Lee, J. H. and Heo, J. H. 2011. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology* 409(1): 30-48.
 25. Leek, R. and P. Olsen. 2000. Modelling climatic erosivity as a factor for soil erosion in Denmark: Changes and temporal trends. *Soil Use Manage* 16: 61-65.
 26. Mannaerts, C. M. and D. Gabriels. 2000. Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil and Tillage Research* 55(3): 207-212.
 27. Masudian, S. A. 2011. Iran Weather. Mashhad Sharie Toos Press, 288 p (In Persian).
 28. Meshesha, D., A. Tsunekawa, A. Tsubo, N. Haregeweyn. and E. Adgo. 2015. Evaluating spatial and temporal variations of rainfall erosivity, case of Central Rift Valley of Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology* 119: 515-522.
 29. Mohammadi, Sh. 2017. Estimating of erosion and sediment in the Menderjan watershed by RS and GIS, MSc watershed management, IUT, Natural Resources. 107 p.
 30. Mohammadi, Sh., H. R. Karimzadeh, S. Pourmanafi. and S. Soltani. 2016. Evaluate spatial rainfall erosivity (Menderjan), the 2nd International Conference LALE-Iran, 26-27 Oct, Isfahan University of Technology (In Persian).
 31. Mohammadi, Sh., H. R. Karimzadeh, S. Pourmanafi and M. Alizadeh. 2018. Spatial and temporal evaluation of soil erosion using RUSLE model landsat satellite image time series (Case Study: Menderjan, Isfahan). *Journal of Range and Watershed Management* 3: 759-774.
 32. Morgan, R. P. C. 1995. Soil Erosion and Conservation. AddisonWesley, London.

33. Nikkami, D. and Mahdian, D. H. 2013. Mapping rain erosivity indicator of the country Iran. *Journal of Engineering and watershed management* 6(4): 364-376.
34. Onchev, N. G. 1985. Universal index for calculating rainfall erosivity. PP. 424-431. In: El-Swaify, S. A., W. C. oldenhauer and A. Lo. (Eds.), Soil Erosion and Conservation, Soil Conservation Society of America, Ankeny.
35. Panagos, P., P. Borrelli, J. Spinoni, C. Ballabio, K. Meusburger and S. Beguería. 2016. Monthly rainfall erosivity: conversion factors for different time resolutions and regional assessments. *Water* 8(4): 1-18.
36. Sadeghi, S. H. and Sh. Tavangar. 2015. Development of stational models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. *Natural Hazards* 77: 429-443.
37. Sadeghi, S. H. R. and Z. Hazbavi. 2015. Trend analysis of the rainfall erosivity index at different time scales in Iran. *Natural Hazards* 77: 383-404.
38. Sadeghi, S., M. Moatamednia and M. Behzadfar. 2011. Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 451-464.
39. Schmidt, S., C. Alewell, P. Panagos and K. Meusburger. 2016. Regionalization of monthly rainfall erosivity patterns in Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences* 20(10): 4359-4373.
40. Smithen, A. A. and R. E. Schulze. 1982. The spatial distribution in southern Africa of rainfall erosivity for use in the Universal Soil Loss Equation. *Water* 8(2):74-78.
41. Terranova, O. G. and S. L. Gariano. 2015. Regional investigation on seasonality of erosivity in the Mediterranean. *Environmental Earth Sciences* 73: 311-324.
42. Vrieling, A., J. C. Hoedjes and M. van. 2014. Towards largescale monitoring of soilerosion in Africa: Accounting for the dynamics of rainfall erosivity. *Global Planet Change* 115: 33-43.
43. Wang, L. L., E. Yang, J. Huang and P. Jiao. 2013. Spatial and temporal characteristics of rainfall erosivity of Shanghai in recent ten years. *Applied Mechanics and Materials* 295: 2084-2089.
44. Wichmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537, US Department of Agriculture, Washington, 537 p.
45. Wilkes, G. and M. Sawada. 2005. Geostatistical derived Great Lakes USLE monthly rainfall erosivity factors. *Journal Great Lakes Research* 31: 155-165.
46. Yang, X., B. Yu and X. Xie. 2015. Predicting changes of rainfall erosivity and hill slope erosion risk across Greater Sydney Region, Australia. *International Journal of Geospatial and Environmental Research* 2(1): 1-2.
47. Yang, X., B. Yu and Q. Zhu. 2015. Climate change impacts on rainfall erosivity and hill slope erosion in NSW, 21st International congress on Modeling and Simulation, Gold Coast, Australia, pp. 1572-1578.
48. You, Q. L., S. C. Kang, E. Aguilar, N. Pepin, W. A. Flugel, P. Yan, Y. Xu, Y. Zhang and J. Huang. 2011. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961-2003. *Climate Dynamic* 36: 2399-2417.
49. Zabihi, M., S. H. R. Sadeghi and M. Vafa khah. 2015. Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Watershed Engineering and Management* 7(4): 442-457.
50. Zhao, Q., Q. Liu, L. Ma, S. Ding, S. Xu, C. Wu and P. Liu. 2017. Spatiotemporal variations in rainfall erosivity during the period of 1960-2011 in Guangdong Province, southern China. *Theoretical and Applied Climatology* 128(2): 113-128.
51. Zhu, Q., X. Chen, Q. Fan, H. Jin and J. Li. 2011. A new procedure to estimate the rainfall erosivity factor based on Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) data. *Science China Technological Sciences* 54: 2437-2445.

Evaluating the Spatial-Temporal Variations of Rainfall Erosivity and Erosivity Density (A Case Study: Menderjan Watershed, Isfahan Province)

Sh. Mohammadi¹, H. R. Karimzadeh^{2*}, S. Pourmanafi³ and M. Alizadeh¹

(Received: September 10-2017; Accepted: April 24-2019)

Abstract

Rainfall erosivity is one of the factors determining the amount of water erosion in the soil. Rainfall erosivity is determined by the total rainstorm energy and the maximum intensity in 30 minutes (I_{30}). Since rainfall erosivity is closely related to the amount and intensity of rainfall, it is expected that the rainfall erosivity would change monthly and seasonally throughout the year. The main objective of this study was the spatial and temporal variation modeling of rainfall erosivity, erosivity density and their impacts on the soil erosion in Menderjan watershed. In this research, by using rainfall data with 1 minute from the rain gauge in the proximity of the basin during the 11-year statistical period (2005-2015), the rainfall erosivity factor (R) was calculated on a monthly average; then it was mapped using geostatistical technologies. Comparison of the monthly, seasonal and annual rainfall erosivity maps showed the highest rainfall erosivity occur in autumn (about 41 percent), while the lowest one was recorded in summer (less than 1%), respectively. According to the results obtained the maximum amount of erosivity was observed in November, which was 65 ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{month}^{-1}$), while the lowest amount was observed in August. This study showed that the highest risk of soil erosion was expected to occur in November, because this month is not only the time of rainfall erosion, but also involves a high erosion density.

Keywords: Erosivity density, RUSLE, Mapping, Zayandeh rud dam

1. Dept. of Watershed Manag., Faculty of Natur. Resour., Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

2. Dept. of Soil Sci., Faculty of Natur. Resour., Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

3. Dept. of Environ., Faculty of Natur. Resour., Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: hr_karimzadeh@yahoo.com