

تحلیل هم‌روندی تغییرات شاخص‌های فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده و بارش استاندارد شده در استان خراسان شمالی

سید حمیدرضا صادقی^{۱*} و محسن ذبیحی^۲

^۱ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۲ دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷

چکیده

فرساینده‌گی باران اولین نکته قابل توجه در مباحث فرسایش خاک است که نقش مهمی در جدا نمودن ذرات خاک از بستر اصلی خود ایفا می‌کند. از این‌رو، بررسی روند عامل فرساینده‌گی باران در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی به‌منظور مدیریت منابع آب و خاک ضروری می‌باشد. حال آن‌که مطالعات مربوط به جنبه‌های مختلف آن از جمله روند فرساینده‌گی و در تعامل با روند بارندگی و شاخص بارش استاندارد شده مورد توجه جدی قرار نگرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی روند عامل فرساینده‌گی باران مبتنی بر شاخص فورنیه در ۲۸ ایستگاه در سرتاسر استان خراسان شمالی طی دوره زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۵ با استفاده از آزمون من-کندال صورت پذیرفت. همچنین، به‌منظور مقایسه و تحلیل جامع‌تر نتایج، روند زمانی بارندگی و شاخص بارش استاندارد شده نیز بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که ایستگاه‌های نوشیروان، فاروج، آیرقاپه و غلامان روند کاهشی و دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه (۷۱/۸۵ درصد ایستگاه‌های استان) روند افزایشی در شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده را داشته‌اند. نتایج بررسی روند شاخص بارش استاندارد شده و همچنین، بارندگی در خراسان شمالی نشان داد که در اغلب ایستگاه‌ها (۸۹/۲۸ درصد ایستگاه‌ها) جز ایستگاه‌های خرتوت، نوشیروان، فاروج و آیرقاپه، روند افزایشی وجود داشته است. همچنین، بیشینه و کمینه مقدار شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده در استان با مقدار ۷۰/۹۷ و ۳۳/۴۴ میلی‌متر به ترتیب مربوط به ایستگاه درکش و آبیاری بجنورد بوده است.

واژه‌های کلیدی: آزمون روند، بجنورد، تغییرات زمانی فرساینده‌گی، فرساینده‌گی باران، مدیریت منابع آب و خاک

مقدمه

منابع آب و خاک برخوردار است (Vafakhah و همکاران، ۲۰۰۲). شواهد زیادی در مورد وجود روندها و تغییرپذیری بلندمدت وجود دارد که ممکن است به دلیل اثرات انسانی و عوارض طبیعی سیستم‌های اقلیمی باشد (Lall و Jain، ۲۰۰۰). یکی از مهمترین و متغیرترین مشخصه‌های اقلیمی هر منطقه، مقدار بارندگی آن است. باران

افزایش دمای متوسط جهان ناهنجاری‌هایی در متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی از قبیل بارش و تبخیر و ترقق به وجود آورده است. بر همین اساس، بررسی این ناهنجاری‌ها به صورت تعیین روند در سری‌های زمانی متغیرهای هیدرولوژی و هواشناسی در مناطق مختلف از اهمیت ویژه‌ای برای مدیریت بهتر

سبب تبیین الگوهای مختلف مدیریتی منابع آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه مطالعه روند و تغییرپذیری متغیرهای هیدرواقليمی در بخش‌های مختلف دنیا صورت گرفته است (Tekleab و همکاران، ۲۰۱۳) که بیان‌گر اهمیت این موضوع می‌باشد. بررسی سوابق پژوهش در زمینه عامل فرساینده‌گی باران نشان می‌دهد که بسیاری از محققین به مطالعه روش‌های تخمین و برآورد عامل فرساینده‌گی (Lee و Heo، ۲۰۱۱؛ Sedeghi، ۲۰۰۳؛ Hakimkhani و همکاران، ۲۰۰۵؛ Nikkami و Mahdian، ۲۰۱۵)، بررسی هم‌زمان تغییرات زمانی و مکانی آن (Sedeghi و همکاران، ۲۰۱۱؛ Alipour و همکاران، ۲۰۱۲؛ Hazbavi و Sedeghi، ۲۰۱۳)، ارتباط آن با متغیرهای بارندگی (Moradi و همکاران، ۲۰۰۶؛ Sharifan، ۲۰۰۷؛ Nikkami و Mahdian، ۲۰۱۵)، پهنه‌بندی عامل فرساینده‌گی و اثر تغییر اقلیم بر عامل فرساینده‌گی (Shiono و همکاران، ۲۰۱۳) پرداخته‌اند. لکن، مطالعات محدودی (Abd Elbasit و همکاران، ۲۰۱۲؛ Angulo-Martínez و Beguería، ۲۰۱۲) در مورد بررسی روند زمانی شاخص فرساینده‌گی انجام شده است. در این راستا، Munka و همکاران (۲۰۰۷) از شاخص فورنیه ماهانه و شاخص فورنیه اصلاح شده سالانه در بررسی تغییرات بلندمدت فرساینده‌گی باران اروگوئه استفاده نمودند و بر تفاوت در روند شاخص فورنیه اصلاح شده در دهه‌های مختلف تأکید داشتند. همچنین، Capolongo و همکاران (۲۰۰۸) با هدف بررسی بزرگی، فراوانی و روند فرساینده‌گی باران، به تحلیل تغییرات زمانی فرساینده‌گی اقلیمی در Basilicata ایتالیا پرداختند و مشخص نمودند که در بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌ها روند آماری وجود نداشته است. Meusburger و همکاران (۲۰۱۲) نیز تغییرپذیری مکانی و زمانی عامل فرساینده‌گی باران در سوئیس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فرساینده‌گی باران روند افزایشی معنی‌داری در دوره مورد مطالعه از ماه می تا اکتبر نشان داده است و تنها در فوریه یک روند کاهشی معنی‌دار در فرساینده‌گی مشاهده شد.

به‌عنوان یکی از عوامل فرساینده، نقش مهمی در جداسازی ذرات خاک از بستر اصلی خود ایفا می‌کند و به‌عنوان اولین و مهمترین عامل در مباحث مربوط به فرسایش آبی خاک مطرح می‌شود (Morgan، ۱۹۹۵؛ Hoyos و همکاران، ۲۰۰۵). فرساینده‌گی باران^۱ به قابلیت بالقوه باران در ایجاد فرسایش خاک اطلاق می‌شود. در صورتی که دیگر عامل‌های ورودی به سامانه آبخیز ثابت فرض شوند، فرسایش خاک به‌طور مستقیم متناسب با عامل فرساینده‌گی باران خواهد بود (Wang و همکاران، ۲۰۰۲؛ Sedeghi، ۲۰۰۳). از آنجایی که اندازه‌گیری فرساینده‌گی باران نیازمند آمار بلندمدت و بالطبع وجود ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار است (Sedeghi و همکاران، ۲۰۱۱)، لذا، به‌دلیل کمبود تعداد ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار، کوتاه بودن طول دوره آماری ایستگاه‌های موجود و نیز وقت‌گیر و مشکل بودن فرایند محاسبه فرساینده‌گی (Silva، ۲۰۰۴) شاخص‌های ساده‌تر و زودیافت به‌وسیله محققان مختلف به‌منظور برآورد عامل فرساینده‌گی باران ارائه شده‌اند. این شاخص‌ها، مبتنی بر خصوصیات بارندگی با اندازه‌گیری هم‌زمان میزان پاشمان یا تلفات خاک و خصوصیات بارندگی و برقراری روابط بین آن‌ها به‌دست آمده‌اند (Alipour و همکاران، ۲۰۱۰). دو شاخص فورنیه (Morgan، ۱۹۹۵) و فورنیه اصلاح شده (Arnoldus، ۱۹۷۷) معروف‌ترین شاخص‌ها در این مورد هستند (Hakimkhani و همکاران، ۲۰۰۵). شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده به‌دلیل زودیافت بودن و قابل دسترس بودن داده‌های بارندگی ماهانه بیش از دیگر شاخص‌ها در تعیین فرساینده‌گی باران به‌خصوص برای مناطق فاقد آمار شدت بارندگی مورد توجه محققین قرار گرفته است. با توجه به این که در بیشتر کشورها، داده‌های با فواصل زمانی کوتاه (کمتر از ۱۵ دقیقه) بسیار محدود است، بنابراین به‌طور کلی روند فرساینده‌گی باران با استفاده از داده‌های معمول در دسترس مقدار باران ارزیابی می‌شود (Salako، ۲۰۰۷). با این وجود، تحلیل رفتار شاخص مزبور و یا هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در قالب بررسی روند به

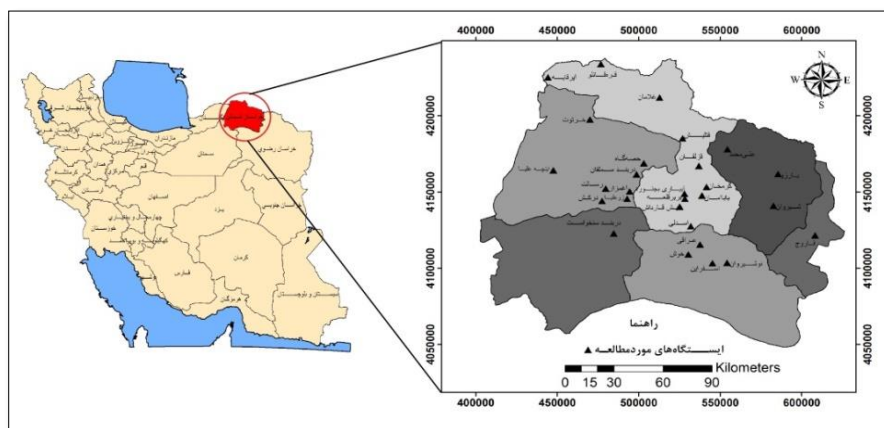
¹ Rainfall erosivity

استان ۱۲/۵ تن در هکتار در سال است (Behzadfar و همکاران، ۲۰۰۹). به‌منظور انجام پژوهش حاضر از داده‌ها و اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی متعلق به سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان شمالی به‌دلیل قابلیت دسترسی، فراوانی و پراکنش مکانی نسبتاً مناسب و طول دوره آماری مورد قبول استفاده شد. پس از بررسی داده‌های ایستگاه‌ها و رسم بارگراف، دوره مشترک آماری از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۵ با حداقل حذف داده‌ها انتخاب شد. پس از انتخاب دوره آماری مشترک آزمون‌های صحت، کیفیت و همگنی داده‌ها انجام و نهایتاً ۲۸ ایستگاه انتخاب شد. بازسازی نواقص آماری نیز از طریق همبستگی بین ایستگاه‌ها (Mahdavi, ۲۰۰۹) صورت گرفت. موقعیت جغرافیایی مربوط به کلیه ایستگاه‌ها در کشور و استان در شکل ۱ آمده است.

در ایران نیز گزارش خاصی در خصوص تحلیل روند فرساینده‌گی با استفاده از شاخص فورنیه یا فورنیه اصلاح شده گزارش نشده است. لذا، مطالعه حاضر به‌منظور بررسی موردی این مهم در استان خراسان شمالی به سبب میزان فرسایش خاک رو به افزایش و طبعاً بررسی عامل فرساینده و روند شاخص فرساینده‌گی در این منطقه برای اتخاذ تدابیر مدیریتی و اجرای طرح‌های حفاظت خاک و آب و با هدف بررسی روند شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده با استفاده از آزمون من-کندال برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی این تحقیق، پهنه جغرافیایی استان خراسان شمالی با مساحتی بالغ بر ۲۸۱۸۲۴۱ هکتار می‌باشد. بارش متوسط سالانه در استان در حدود ۲۹۵ میلی‌متر بوده و متوسط فرسایش ویژه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خراسان شمالی و کشور

می‌باشد (Mann, ۱۹۴۵؛ Kendall, ۱۹۷۵؛ Panda و همکاران، ۲۰۱۵). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. در این روش، داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده با تمام داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود (Sheikh و همکاران، ۲۰۰۹). از مزایای این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی فاقد توزیع آماری خاص و همچنین، اثرپذیری ناچیز این

به‌طور کلی، روش‌های پارامتری و ناپارامتری بسیاری به‌منظور تعیین روند و تحلیل سری‌های زمانی به‌کار گرفته می‌شوند. اگرچه آزمون‌های پارامتریک روند، قدرتمندتر از آزمون‌های ناپارامتریک هستند، اما نیاز آن‌ها به داده‌های مستقل و تابع توزیع نرمال، امکان استفاده از آن‌ها را محدود ساخته است (Zhang و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از آزمون‌های ناپارامتری موفق و استفاده شده در سطح وسیع برای تعیین روند در سری‌های زمانی هیدرواقليمی، آزمون من-کندال^۱

^۱ Mann-Kendall test

فرسایندگی فورنیه اصلاح شده در استان به ترتیب ۷۰/۹۷ و ۳۳/۴۴ میلی متر مربوط به ایستگاه‌های درکش و آبیاری بجنورد می‌باشد. میانگین وزنی شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده در خراسان شمالی نیز برابر با ۴۵/۲ میلی متر محاسبه شد. بیشترین و کمترین انحراف معیار از میانگین در ایستگاه‌های مطالعاتی نیز به ترتیب برای ایستگاه‌های درکش (۴۰/۸۳ میلی متر) و شیروان (۱۷/۴۴ میلی متر) به دست آمد. یافته‌های مذکور با بیشینه مقدار گزارش شده شاخص فرسایندگی در ایستگاه درکش به وسیله Behzadfar و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. لکن، ایستگاه با کمینه مقدار به دست آمده را تأیید نمی‌کند. Hakimkhani و همکاران (۲۰۰۵) نیز در بررسی تغییرات مکانی شاخص فرسایندگی فورنیه بر اساس ۱۳۳۷ ایستگاه در کل کشور، مقدار میانگین، بیشینه و کمینه برابر با ۵۰/۷۸، ۲۲۸/۴۱ و ۶/۳ میلی متر را برآورد کردند. دلیل تفاوت در نتایج را می‌توان به تغییرپذیری زمانی مقدار بارندگی در سال‌های مختلف و همچنین، دوره آماری متفاوت مورد بررسی نسبت داد.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، ایستگاه‌های نوشیروان، فاروج، آیرقاپه و غلامان، روند کاهشی و دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه (۷۱/۸۵ درصد ایستگاه‌های استان)، روند افزایشی در شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده را نشان دادند. همچنین، ایستگاه‌های بربرقلعه، بارزو و اینچه‌علیا (۱۰/۷ درصد ایستگاه‌ها)، در سطح پنج درصد دارای روند معنی‌دار افزایشی در شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده بودند و در سطح ۱۰ درصد در ایستگاه‌های آبیاری بجنورد، آغمزار، خرتوت و قتلش (۱۴/۲۸ درصد ایستگاه‌ها) روند معنی‌دار افزایشی مشاهده شد. در بررسی روند فرسایندگی، باوجود روند معنی‌دار در سطوح پنج و ۱۰ درصد شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده در ۲۵ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه (شامل ۲۳ درصد سطح استان بر اساس روش تیسن)، در کل استان خراسان شمالی روند افزایشی اما غیر معنی‌دار در شاخص مذکور مشاهده شد. شکل ۲، محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس روش تیسن برای

روش از مقادیر حدی موجود در برخی سری‌ها اشاره کرد (Kahya و Partal, ۲۰۰۶).

به منظور بررسی وضعیت فرسایندگی منطقه مورد مطالعه و طبعاً تحلیل روند تغییرات آن، از شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده به سبب امکان دسترسی به داده‌های مورد نیاز و نیز ضرورت وضعیت توزیع بارندگی در تمام ماه‌های سال علاوه بر پوشش معنی‌دار مرطوب‌ترین ماه (Arnoldus, ۱۹۷۷؛ Porto و Ferro, ۱۹۹۹؛ Hakimkhani و همکاران، ۲۰۰۵)، به صورت رابطه (۱) استفاده شد.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P} \quad (1)$$

که در آن، F شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده (میلی متر)، P_i بارندگی ماهانه (میلی متر) و P بارش متوسط دراز مدت سالانه (میلی متر) هستند. سپس تحلیل روند شاخص فرسایندگی با استفاده از آزمون من-کندال به وسیله الحاقیه Xlstat2013 در محیط نرم افزار Excel 2010 محاسبه و استخراج شد. همچنین، به منظور تحلیل عوامل کلی مؤثر بر روند احتمالی شاخص فرسایندگی، از بررسی الگوی تغییرپذیری شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۱ و نیز مقدار بارندگی سالانه ایستگاه‌های مورد نظر استفاده شد. شاخص بارش استاندارد شده بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار و بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد (Ensaifi Moghadan, ۲۰۰۷).

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{I} \quad (2)$$

که در آن، P_i مقدار بارش سالانه، \bar{P} میانگین بارش بلندمدت و I انحراف معیار داده‌های بارش بلندمدت و همگی بر حسب میلی متر هستند.

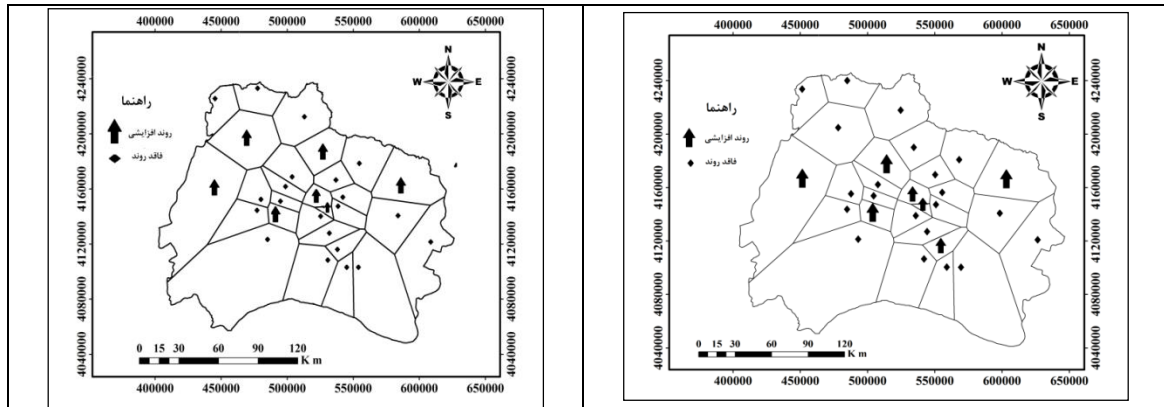
نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی روند زمانی شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده، شاخص بارش استاندارد شده و بارندگی با استفاده از آزمون من-کندال در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس محاسبات صورت گرفته، بیشینه و کمینه مقدار شاخص

^۱ Standardized Precipitation Index, SPI

شاخص فورنیه اصلاح شده و شاخص بارش استاندارد

شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس روش تیسن برای شاخص بارش استاندارد شده (راست) و شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده (چپ)

در بررسی روند شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده، شاخص بارش استاندارد شده و بارندگی در ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار در شاخص فرساینده‌گی، در سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۶۹ و ۱۳۸۱-۱۳۸۰ مقدار عددی شاخص بیشتر از سایر سال‌ها بوده است. این بدین معنی است که در سال‌های با بیشترین مقدار بارندگی، بیشترین مقدار فرساینده‌گی و کمترین شاخص بارش استاندارد شده وجود دارد که با نتایج Mohamadian و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر وقوع وسیع‌ترین و شدیدترین خشک‌سالی‌ها بر اساس شاخص‌های SPI، DI^۱ و PNI^۲ در استان خراسان شمالی به ترتیب در سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۳۸۱ مغایرت دارد. این امر تنها به دلیل استفاده از مقدار بارندگی در محاسبه این شاخص‌ها می‌باشد و می‌توان آن را از بزرگ‌ترین معایب روش فورنیه اصلاح شده ذکر نمود. چرا که تنها استفاده از مقدار باران در محاسبه شاخص فرساینده‌گی منطقی به نظر نمی‌رسد. این اظهار نظر با گزارش‌های Ufoegbune و همکاران (۲۰۱۱) هم‌سو بوده است.

تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از تحقیق، بیان‌گر عدم وجود روند معنی‌دار شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده در سطح استان است. این نتیجه ناشی از تاثیر بیشتر ایستگاه‌های فاقد روند (۷۷ درصد سطح استان بر اساس روش تیسن) به دلیل تغییرات کمتر در

نتایج حاصل از بررسی روند شاخص بارش استاندارد شده و همچنین، بارندگی در استان خراسان شمالی نشان داد که در کلیه ایستگاه‌ها (۸۹/۲۸ درصد ایستگاه‌ها) جز ایستگاه‌های خرتوت، نوشیروان، فاروج و آیرقابه روند افزایشی در شاخص بارش استاندارد شده و همچنین، بارندگی وجود دارد. در ایستگاه‌های بارزو، بربرقلعه، اینچه‌علیا، آبیاری بجنورد و آغمزار در سطح پنج درصد و ایستگاه‌های عراقی و حصه‌گاه در سطح ۱۰ درصد روند افزایشی معنی‌دار مشاهده شد. در استان خراسان شمالی روند شاخص بارش استاندارد شده و بارندگی نیز همچون شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده افزایشی و غیر معنی‌دار بود. لازم به ذکر است که ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار در شاخص بارش استاندارد شده و بارندگی حدود ۳۸ درصد از مساحت استان را تحت پوشش قرار می‌دهند. همچنین، نتایج نشان داد که در کلیه ایستگاه‌ها سطوح معنی‌داری و مقدار آماره من-کندال به دلیل وجود مقادیر ثابت بارندگی متوسط و انحراف معیار به ترتیب در صورت و مخرج رابطه مورد استفاده (رابطه ۲) و طبعاً کنترل‌پذیری مقدار شاخص مزبور تنها از مقدار بارندگی سالانه کاملاً با هم برابر است. در شکل ۳، نمودار روند تغییرات شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده و شاخص بارش استاندارد شده در ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار فرساینده‌گی سطوح پنج و ۱۰ درصد نمایش داده شده است.

^۱ Deciles Index, DI

^۲ Percent of Normal Index, PNI

Asakereh (۲۰۰۷) مبنی بر بیشترین روند افزایشی بارش طی چهار دهه اخیر در امتداد کوه‌های شمال خراسان را تأیید می‌کند و با نتایج Raziei و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت ندارد.

سطح وسیع‌تر می‌باشد. روند تغییرات شاخص SPI و مقدار بارندگی نیز به‌همین دلیل در کل استان معنی‌دار نیست. همچنین، وجود روند افزایشی شاخص‌های فرساینده‌گی، SPI و مقدار بارندگی در برخی از ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، نتایج

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمون روند تغییرات من-کندال شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده، شاخص بارش استاندارد شده و مقدار بارندگی سالانه در ایستگاه‌های مطالعاتی در استان خراسان شمالی

ردیف	نام ایستگاه	شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده (میلی متر)				شاخص بارش استاندارد شده بارندگی (میلی متر)	
		آماره من-کندال	سطح معنی‌داری	آماره من-کندال	سطح معنی‌داری	آماره من-کندال	سطح معنی‌داری
۱	اسفراین	۰/۱۲۳	۰/۴۸۹	۰/۱۲۹	۰/۴۶۲	۰/۱۲۹	۰/۴۶۲
۲	خوش	۰/۰۸	۰/۶۲۹	۰/۱۵۲	۰/۳۸۱	۰/۱۵۲	۰/۳۸۱
۳	دریند سنخواست	۰/۲۵۱	۰/۱۴۳	۰/۲۵۲	۰/۱۴۱	۰/۲۵۳	۰/۱۴۱
۴	عراقی	۰/۲۷۵	۰/۱۰۸	۰/۲۸۷	۰/۰۹۳ [#]	۰/۲۸۷	۰/۰۹۳ [#]
۵	نوشیروان	-۰/۱۴۶	۰/۴۰۶	-۰/۰۱۸	۰/۹۴۵	-۰/۰۱۸	۰/۹۴۵
۶	اسدلی	۰/۰۷۶	۰/۶۷۹	۰/۱۵۸	۰/۳۶۸	۰/۱۵۸	۰/۳۶۸
۷	بابامان	۰/۱۱۱	۰/۵۳۴	۰/۱۵۹	۰/۳۶۲	۰/۱۵۹	۰/۳۶۲
۸	آبیاری بجنورد	۰/۲۸۷	۰/۰۹۳ [#]	۰/۳۳۳	۰/۰۴۹ [*]	۰/۳۳۳	۰/۰۴۹ [*]
۹	بربرقلعه	۰/۳۴۵	۰/۰۴۱ [*]	۰/۳۴۵	۰/۰۴۱ [*]	۰/۳۴۵	۰/۰۴۱ [*]
۱۰	بش قارداش	۰/۰۶۴	۰/۷۳۰	۰/۰۸۸	۰/۶۲۹	۰/۰۸۸	۰/۶۲۹
۱۱	گرمخان	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷
۱۲	دریند سملقان	۰/۰۷۶	۰/۶۷۹	۰/۰۱۸	۰/۹۴۵	۰/۰۱۸	۰/۹۴۵
۱۳	درکش	۰/۲۴۰	۰/۱۶۴	۰/۱۵۸	۰/۳۶۸	۰/۱۵۸	۰/۳۶۸
۱۴	رسالت	۰/۱۲۳	۰/۴۸۹	۰/۱۷۰	۰/۳۳۲	۰/۱۷۰	۰/۳۳۲
۱۵	بارزو	۰/۴۱۵	۰/۰۱۳ [*]	۰/۴۲۷	۰/۰۱۰ [*]	۰/۴۲۷	۰/۰۱۰ [*]
۱۶	زوعلیا	۰/۰۸۸	۰/۶۲۹	۰/۰۹۹	۰/۵۸۱	۰/۰۹۹	۰/۵۸۱
۱۷	شیروان	۰/۳۵۱	۰/۱۴۳	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷
۱۸	فاروج	-۰/۰۵۳	۰/۷۸۳	-۰/۰۵۳	۰/۷۸۳	-۰/۰۵۳	۰/۷۸۳
۱۹	آیرقابه	-۰/۰۸۲	۰/۶۴۹	-۰/۰۵۳	۰/۷۸۳	-۰/۰۵۳	۰/۷۸۳
۲۰	غلامان	-۰/۰۵۳	۰/۷۸۳	۰/۰۱۸	۰/۹۴۵	۰/۰۱۸	۰/۹۴۵
۲۱	قره‌قاندو	۰/۰۷۶	۰/۶۷۹	۰/۰۸۸	۰/۶۲۹	۰/۰۸۸	۰/۶۲۹
۲۲	اینچه علیا	۰/۳۳۳	۰/۰۴۹ [*]	۰/۴۳۴	۰/۰۱۱ [*]	۰/۴۳۴	۰/۰۱۱ [*]
۲۳	آغمزار	۰/۲۸۷	۰/۰۹۳ [#]	۰/۳۳۳	۰/۰۴۹ [*]	۰/۳۳۳	۰/۰۴۹ [*]
۲۴	حصه‌گاه	۰/۲۲۸	۰/۱۸۶	۰/۲۸۷	۰/۰۹۳ [#]	۰/۲۸۷	۰/۰۹۳ [#]
۲۵	خرتوت	۰/۲۹۸	۰/۰۸۰ [#]	-۰/۱۷۰	۰/۳۳۲	-۰/۱۷۰	۰/۳۳۲
۲۶	علی محمد	۰/۲۴۰	۰/۱۶۴	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷
۲۷	قتلیش	۰/۲۸۷	۰/۰۹۳ [#]	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷	۰/۱۹۳	۰/۲۶۷
۲۸	قرزلقان	۰/۱۳۵	۰/۴۴۷	۰/۱۵۸	۰/۳۶۸	۰/۱۵۸	۰/۳۶۸

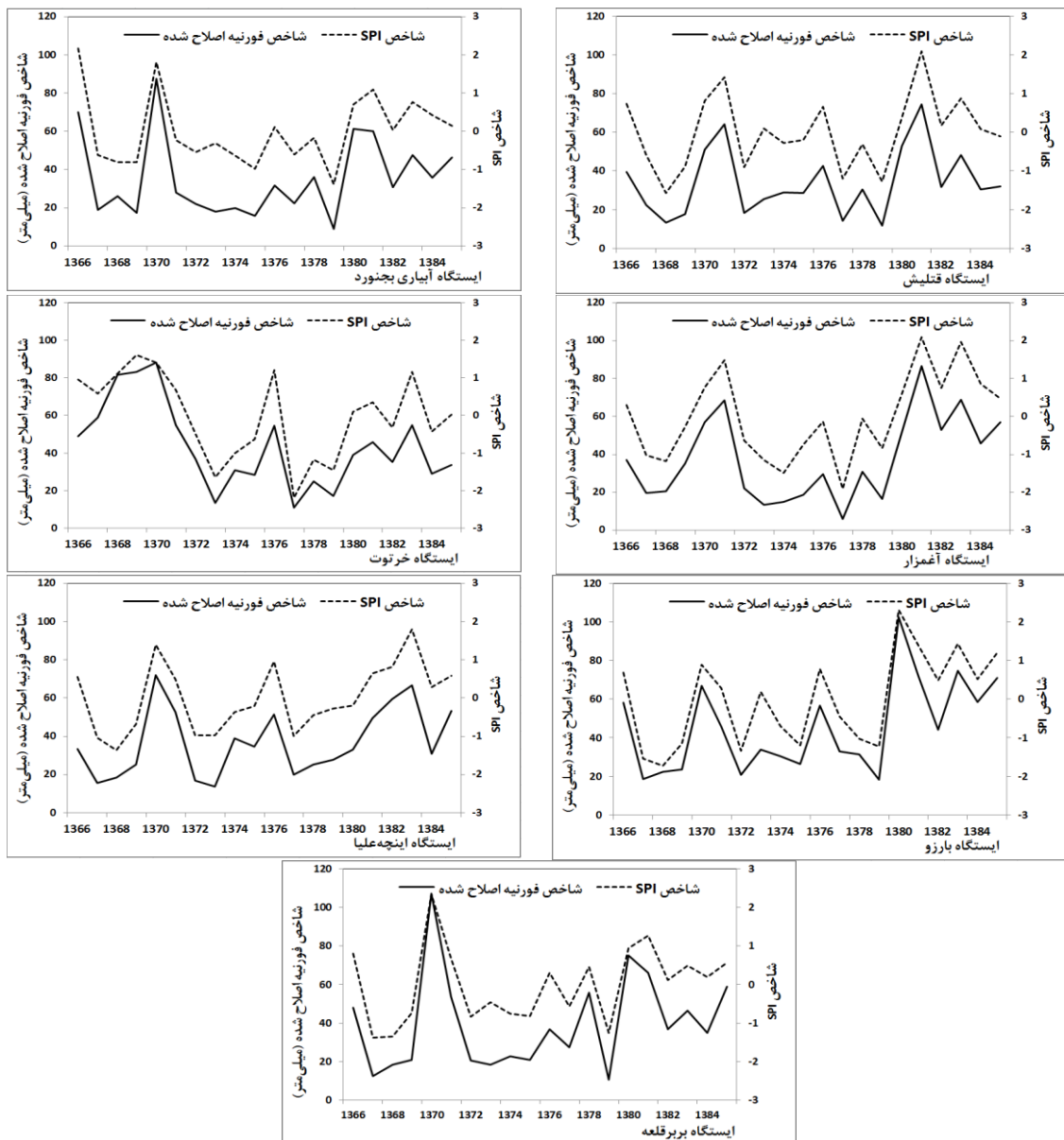
** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، # معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد

کاهش و بقیه روند ترکیبی افزایشی معنی‌دار و غیر معنی‌دار را نشان دادند که بیان‌گر عدم وجود الگوی مکانی خاصی از روند بوده و این می‌تواند ناشی از

در بررسی روند شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده مشاهده شد که از مجموع ۲۸ ایستگاه در استان خراسان شمالی، چهار ایستگاه روند غیر معنی‌دار

مدیریت چرای دام را به‌منظور بیشینه‌سازی پوشش سطح زمین الزامی می‌سازد. انتظار می‌رود این نتایج با وجود درصد کم تاج پوشش گیاهی، افزایش بی‌رویه اراضی کشاورزی دیم، وجود دام بیش از حد ظرفیت مراتع و همچنین، اقلیم خشک و نیمه‌خشک منطقه مورد مطالعه (Behzadfar و همکاران، ۲۰۰۹)، نیازمند توجه جدی و انجام اقدامات حفاظتی در برای مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز با نگرش توسعه پایدار است.

خصوصیات توپوگرافی در منطقه مطالعاتی، وضعیت قرارگیری ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌منظور تعیین مقدار صحیح باران، ویژگی‌های اقلیمی منطقه و همچنین، روش محاسباتی شاخص مورد استفاده باشد. قرار گرفتن بیشتر ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار شاخص فرساینده فورنیه اصلاح شده در مناطق با کاربری‌های زراعت (آبی و دیم) و مرتع (تراکم کم و متوسط)، توجه بیشتر و انجام اقدامات حفاظتی و کنترل فرسایش از جمله مدیریت کشت، فرق و



شکل ۳- نمودار تغییرات زمانی شاخص فرساینده فورنیه اصلاح شده و شاخص بارش استاندارد شده در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خراسان شمالی

فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده در استان خراسان شمالی پرداخته شد. با توجه به آن که آگاهی از روند تغییرات بارندگی و عامل فرساینده‌گی آن در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های صحیح مدیریتی یک منطقه حائز اهمیت فراوان است، نتایج این پژوهش در آشکار نمودن وضعیت اقلیمی و فرسایشی استان خراسان شمالی قابل توجه است. در مجموع نمی‌توان با اطمینان کامل در مورد بررسی و تحلیل شاخص‌های فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده و SPI اظهار نظر نمود. زیرا استفاده از مقدار باران به منظور محاسبه در هر دو شاخص به تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی برای تحلیل نتایج حاصل باشد. در این رابطه مقدار بارندگی به خوبی قادر به تبیین فرساینده‌گی باران نیست. به این منظور، می‌توان از سایر شاخص‌ها، همچون EI_{30} (Wischmeier و Smith، ۱۹۷۸) به سبب لحاظ سایر مؤلفه‌های بارندگی در برآورد فرساینده‌گی بهره برد. حال از آنجایی که تا کنون در کشور مطالعات محدودی در زمینه بررسی روند زمانی عامل فرساینده‌گی باران و همچنین بررسی هم‌زمان روند عامل فرساینده‌گی باران و شاخص بارش استاندارد شده صورت گرفته است، این مطالعه می‌تواند بیان‌گر روند فرساینده‌گی باران و اقلیمی در استان خراسان شمالی و طبیعتاً هشدار روند رو به افزایش پتانسیل فرسایش و تأکید بر پتانسیل آسیب‌پذیری بالای منطقه باشد. در نهایت احداث و تجهیز ایستگاه‌ها برای ثبت داده‌های باران‌نگاری و انجام مطالعات و تحقیقات مشابه در زمینه عامل فرساینده‌گی باران به وسیله سایر شاخص‌ها در استان خراسان شمالی و همچنین، سایر مناطق کشور به منظور انجام ارزیابی‌های مقایسه‌ای و جمع‌بندی‌های مناسب پیشنهاد می‌شود.

هر چند در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند شاخص‌های فورنیه اصلاح شده و SPI مشابه یکدیگر بود، اما در بعضی ایستگاه‌ها سطوح معنی‌داری و در برخی نیز شکل تغییرات آن‌ها متفاوت است. به عنوان نمونه در ایستگاه آبیاری بجنورد در شاخص‌های فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده، SPI و همچنین بارندگی، سطوح معنی‌داری و در ایستگاه خرتوت شکل تغییرات متفاوت می‌باشد. در ایستگاه عراقی نیز هر چند روند معنی‌داری در شاخص فرساینده‌گی وجود ندارد، اما شاخص بارش استاندارد شده و بارندگی نشان‌دهنده روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد هستند. در این ایستگاه با وجود روند کاهشی شاخص بارش استاندارد شده (افزایش سال‌های خشک) و مقدار بارندگی، شاخص فرساینده‌گی روند افزایشی دارد که لزوم توجه بیشتر را می‌طلبد.

لازم به ذکر است که در مقایسه روند تغییرات بارندگی و شاخص بارش استاندارد شده، سطوح معنی‌داری یا غیرمعنی‌داری و همچنین، مقدار آماره من-کندال کاملاً با یکدیگر برابر بوده که دلیل این امر را می‌توان در معادله شاخص بارش استاندارد شده جستجو نمود. چرا که در این معادله، شاخص بارش استاندارد شده با مقدار بارندگی به‌طور مستقیم در ارتباط است و مسلماً با افزایش یا کاهش مقدار بارندگی، شاخص بارش استاندارد شده نیز افزایش (کاهش سال‌های خشک) یا کاهش (افزایش سال‌های خشک) خواهد یافت. در حالی که در رابطه شاخص فرساینده‌گی فورنیه اصلاح شده الزاماً این گونه نیست.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به بررسی و تحلیل روند شاخص

منابع مورد استفاده

1. Abd Elbasit, M.A.M., J. Huang, CSP. Ojh, Y. Hiroshi and E.O. Adam. 2012. Spatiotemporal changes of rainfall erosivity in loess plateau, China. Hindawi Publishing Corporation, ISRN Soil Science, Article ID 256352, 8 pages.
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. Alipour, Z.T., M.H. Mahdian, E. Pazira, S. Hakimkhani and M. Saeidi. 2012. The determination of the best rainfall erosivity index for namak lake basin and evaluation of spatial variations. Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2(1): 484-494.

4. Angulo-Martínez, M. and S. Beguer. 2012. Trends in rainfall erosivity index in NE Spain at annual, seasonal and daily scales, 1955–2006. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9(5): 6285–6309.
5. 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: 39-51.
6. Asakereh, H. 2007. Spatio-temporal variability of rainfall during the last decades in Iran. *Geography and Development Iranian Journal*, 10: 145-164 (in Persian).
7. Behzadfar, M., H. Hasanzadeh and M. Saberi. 2008. Study of Fournier erosivity index in North-Khorasan Province. 5th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran, Karaj, 22-23 April, 11 pages (in Persian).
8. Capolongo, D., N. Diodato, C.M. Mannaerts, M. Piccarreta and R.O. Strobl. 2008. Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). *Journal of Hydrology*, 356: 119–130.
9. Ensafi Moghadan, T. 2006. Assessment of climatic drought index and determination of best index in the namak Lake watershed. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14(2): 271-288 (in Persian).
10. Ferro, V. and P. Porto. 1999. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. *Hydrological Sciences Journal*, 44(1): 3-24.
11. Hakimkhani, Sh., M.H. Mahdian, M. Arabkhedri and D. Ghorbanpour. 2005. Investigation of rainfall erosivity in the country. 3th National Conference of Erosion and Sediment, Tehran, August 27-30, 7 pages (in Persian).
12. Hazbavi, Z. and S.H.R. Sadeghi. 2013. Analysis of spatial trend of rainfall erosivity in Iran. 2013. 1st International Conference On Environmental Crisis and its Solutions, Kish Island, Iran, 13-14 February, 7 pages.
13. 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(4): 177-191.
14. Jain, S. and U. Lall. 2000. Magnitude and timing of annual maximum floods: trends and large-scale climatic associations for the Blacksmith Fork River, Utah. *Water Resources Research*, 36: 3641-3652.
15. Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, 108 pages.
16. Lee, J.K. and J.H. Heo. 2011. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology*, 409(2): 30-48.
17. Mahdavi, M. 2009. *Applied hydrology*. Tehran University Press, 342 Pages (in Persian).
18. Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13: 245–259.
19. Meusbürger, K., A. Steel, P. Panagos, L. Montanarella and C. Alewell. 2012. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1): 167-177.
20. Mohamadian, A., M. Kouhi, A. Adinehbaigi, S.J. Rasouli and B. Bazrafshan. 2010. Comparison of monitoring of drought using SPI, DI and PNI and zoning them, case study: Northern Khorasan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 17: 177-184 (in Persian).
21. Moradi, H.R., M. Behzadfar and S.H.R. Sadeghi. 2006. Investigation of Relationship between rainfall parameters and rainfall erosivity factor in Khuzestan Province. *Agriculture Scientific Journal*, 29(4): 69-83 (in Persian).
22. Morgan, R.P.C. 1995. *Soil erosion and conservation*, Addison-Wesley, London, 198 pages.
23. Munka, C., G. Cruz and R.M. Caffer. 2007. Long term variation in rainfall erosivity in Uruguay: a preliminary Fournier approach. *GeoJournal*, 70: 257–262.
24. Nikkami, D. and M.H. Mahdian. 2015. Rainfall erosivity mapping in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(4): 364-376.
25. Panda, D.K., A. Kumar, S. Ghosh and R.K. Mohanty. 2013. Streamflow trends in the Mahanadi river basin (India), Linkages to tropical climate variability. *Journal of Hydrology*, 495: 135-149.
26. Partal, T. and E. Kahya. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20: 2011-2026.
27. Razi, T., P. Danesh Kar arasteh and B. Saghafian. 2004. Investigation of annual rainfall trend in arid and semiarid regions of Central and Eastern Iran. *Journal of Water and Wastewater*, 54(16): 73-81 (in Persian).
28. Sadeghi, S.H.R. 2003. Comparison of methods to estimate rainfall erosivity. *Agricultural Technology and Sciences Journal*, 19(1): 45-52 (in Persian).
29. Sadeghi, S.H.R., 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.

30. Salako, F.K. 2007. Temporal variation of rainfall erosivity in southern Nigeria. *ASSET Series A*, 7(1): 190-202.
31. Sharifan, H. 2007. Evaluation of equations erosivity index and parameters of rainfall in Gorgan. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*, 14(4): 207-216 (in Persian).
32. Sheikh, V.B., A. Babaei and Y. Mushekhian. 2009. Investigation of rainfall regime trend in gorganroud watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 3(8): 29-39 (in Persian).
33. Shiono, T., S. Ogawa, T. Miyamoto and K. Kameyama. 2013. Expected impacts of climate change on rainfall erosivity of farmlands in Japan. *Ecological Engineering*, 61: 678-689.
34. Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57(3): 251-259.
35. Tekleab, S., Y. Mohamed and S. Uhlenbrook. 2013. Hydro-climatic trends in the Abay/Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 61-62: 32-42.
36. Ufoegbune, G.C., N.J. Bello, Z.O. Ojekunle, A.R. Orunkoye, A. Eruola and A.A. Oand Amori. 2011. Rainfall erosivity pattern of ogun river basin area (Nigeria) using Modified Fournier Index. *European Water*, 35: 23-29.
37. Vafakhah, M., M. Bakhshirgani and M. Khazaei. 2012. Trend analysis of rainfall and discharge in Kashafrud Watershed. *Geography and Development Iranian Journal*, 29: 77-90 (in Persian).
38. Wang, G., G. Gertner, V. Singh, S. Shinkareva, P. Parysow and A. Anderson. 2002. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation, a case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. *Ecological Modelling*, 153: 143-155.
39. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*. No.537. 58 pages.
40. Zhang, Q., C. Liu, C.Y. Xu, Y. Xu and T. Jiang. 2006. Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin, China. *Journal of Hydrology*, 324: 255-265.

Trend analysis of modified Fournier erosivity and standardized precipitation indices variations in North-Khorasan Province, Iran

Seyed Hamidreza Sadeghi^{*1} and Mohsen Zabihi²

¹ Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiaat Modares University, Iran and ² PhD Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiaat Modares University, Iran

Received: 07 November 2016

Accepted: 26 April 2017

Abstract

Rainfall erosivity factor is the first noticeable point in soil erosion issues that plays very important role in detachment of soil particle from the origin bed. Hence, investigation of rainfall erosivity factor trend is necessary in decision-making and planning in order to manage soil and water resources. However, studies on various aspects of erosivity like trend and in interaction with precipitation and SPI index have not been attended well. The present study therefore aimed to investigate the rainfall erosivity factor trend based on the Fournier index in 28 stations throughout North-Khorasan Province during the period of 1987 to 2006 by using the Mann-Kendall test. In addition, the SPI and precipitation trend were comprehensively investigated for better characterization of erosivity trend analysis. Results showed that Noushirvan, Faruj, Ayerqayeh and Gholaman stations had decreasing trend and other study stations (71.85%) had increasing trend in the modified Fournier erosivity index. The SPI and precipitation in the study area indicated that most of the stations (89.28%) excluding Khartot, Noushirvan, Faruj and Ayerqayeh had increasing trend. The maximum and the minimum values of modified Fournier erosivity index with 70.97 and 33.44 mm were also assigned to Darkesh and Abiary Bojnourd stations, respectively.

Keywords: Rainfall erosivity, Temporal variation of erosivity, Soil and water management, Trend analysis

* Corresponding author: sadeghi@modares.ac.ir