الگوهای تغییرپذیری زمانی و مکانی خطر عامل فرسایندگی باران در شمال شرق ایران

رئوف مصطفی‌زاده*[۱]، محسن ذبیحی[۲]، خدیجه حاجی[۳]، محمد حسین قویمی پناه[۴]

۱- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۲، تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۰۶)

چکیده

عامل فرسایندگی باران برای توصیف توانایی باران در فرسودن خاک است که اطلاع از تغییرات زمانی و مکانی آن منجر به برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیمات صحیح کنترل و مهار فرسایش خاک می‌شود. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی خطر عامل فرسایندگی باران در شمال شرق ایران برنامه‌ریزی شده است. بدین منظور، مقدار عامل فرسایندگی باران ۴۱ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره آماری مشترک ۳۳ ساله در حوضه آبخیز گرگانرود محاسبه شد. سپس نقشه‌های مقادیر میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار عامل فرسایندگی باران با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله طی دوره مطالعاتی تهیه و مورد تحلیل قرار گرفت. براساس نتایج، مقدار میانگین عامل فرسایندگی باران سالانه در حوضه آبخیز گرگانرود برابر با ۷۳،۰۸ میلی‌متر به‌دست آمد. ایستگاه‌های رباط قره‌بیل و پس‌پشته به‌ترتیب با ۳۴،۵۷ و ۱۱۱،۱۶ میلی‌متر به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار میانگین عامل فرسایندگی باران در بین ایستگاه‌های مطالعاتی را به خود اختصاص دادند. عدم تشابه الگوهای مکانی مقادیر میانگین و بیشینه عامل فرسایندگی باران در منطقه مطالعاتی از دیگر یافته‌های پژوهش حاضر است. ضمناً ۳۷،۴۴ درصد از سطح حوضه آبخیز مطالعاتی در طبقه زیاد خطر عامل فرسایندگی قرار گرفت. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در اتخاذ تدابیر صحیح مدیریتی و اولویت‌بندی مناطق برای انجام اقدامات حفاظتی در حوضه آبریز گرگانرود مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تولید رسوب، فرسایش خاک، فورنیه اصلاح‌شده، من-کندال، استان گلستان

مقدمه

طی دهه‌های اخیر افزایش چشم‌گیر مقدار فرسایش خاک در مقیاس جهانی به‌دلیل عدم مدیریت صحیح و استفاده نامناسب از اراضی همواره به‌عنوان یکی از مسائل و دغدغه‌های متخصصین، محققان و تصمیم‌گیران بوده است. به‌طوری که حدود ۲ میلیارد هکتار (۱۳ درصد) از سطح کره زمین دچار تخریب‌های ناشی از فرسایش خاک شده است (اولدمان، ۱۹۹۴). مقدار سالانه فرسایش خاک در ایران نیز براساس مطالعه حسینی و قربانی (۱۳۸۴) حدود ۳۳ تن در هکتار و ۶،۵ برابر حد مجاز و استانداردهای بین‌المللی گزارش شده است. ضمناً مقدار ۴،۳ برابری متوسط فرسایش خاک در کشور ایران نسبت به دنیا حاکی از مقدار زیاد فرسایش خاک در کشور است (امیدوار، ۱۳۹۴) که لزوم اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب در راستای مهار و کنترل فرسایش خاک را بیش از پیش آشکار می‌سازد. در همین راستا اجرای طرح‌های مدیریتی هم‌سو با توسعه پایدار منابع خاک و آب نیازمند مطالعه و اندازه‌گیری دقیق عوامل مؤثر و تحلیل فرآیندهای حاکم بر فرسایش و تخریب خاک است (رادریگو کومینو و همکاران، ۲۰۱۵). فرسایش آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش خاک، متأثر از عوامل متعددی از قبیل اقلیم، رواناب سطحی، ویژگی‌های خاک، فیزیوگرافی، پوشش سطحی خاک و عملیات بهره‌برداری از خاک است (خالدی‌درویشان و همکاران، ۲۰۱۵؛ اسپالویچ و همکاران، ۲۰۱۳). در این بین عامل اقلیمی به‌عنوان متغیرترین عامل مؤثر بر فرسایش خاک

* نگارنده رابط: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

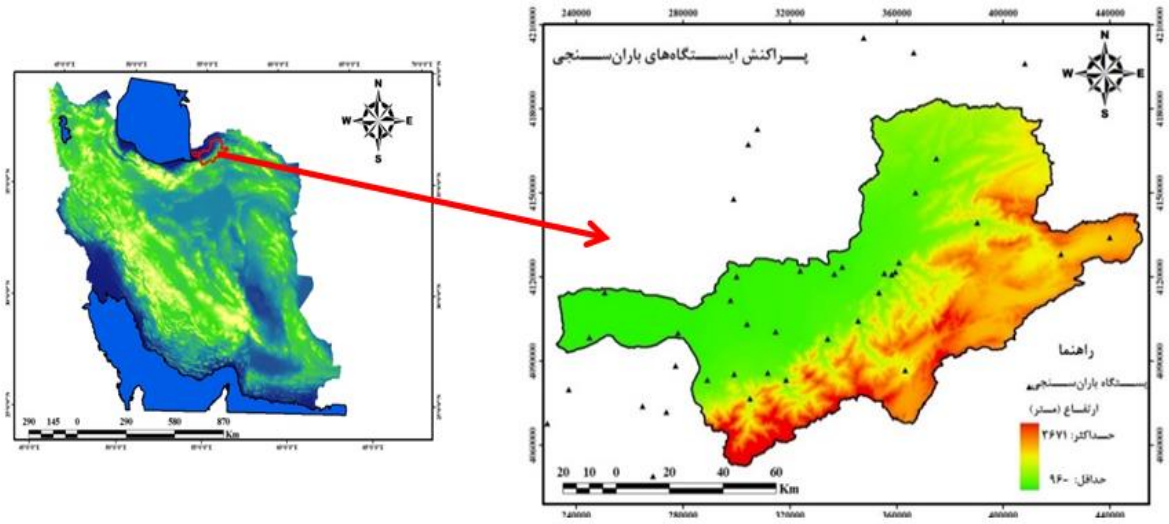
نقش مهمی در تعیین مقدار فرسایش خاک دارد و لذا تعیین خصوصیات رفتاری عامل اقلیمی و هم‌چنین بررسی تغییرات آن در پهنه حوضه‌های آبخیز جهت تعیین مناطق با طبقات خطر مختلف عامل مذکور به‌منظور مدیریت و اولویت‌بندی حفاظتی مناطق از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. عموماً عامل اقلیم در رابطه با شدت و مقدار بارندگی بیان می‌شود که در صورت ثابت فرض نمودن سایر عوامل مؤثر بر فرسایش خاک، پتانسیل فرسایش خاک را تبیین می‌نماید (ذبیحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ هویوس و همکاران، ۲۰۰۵). برخورد قطرات باران به سطح خاک و پاشمان ذرات از اولین مراحل تخریب سطحی خاک بوده و مطالعه و بررسی آن به‌منظور ارایه راهکارهای مدیریتی و فنی متناسب اجتناب‌ناپذیر است (خالدی‌درویشان و همکاران، ۲۰۱۵؛ لگودویس و همکاران، ۲۰۰۵). فرسایندگی باران، توانایی بالقوه باران در جداسازی و انتقال ذرات خاک است (سیلوا، ۲۰۰۴). برآورد عامل فرسایندگی باران با استفاده از شاخص‌های مختلفی صورت می‌پذیرد که به دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار زودیافت باران تقسیم‌بندی می‌شوند (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶). کاربرد شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی نیازمند آمار طولانی ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌نگاری (شدت بارندگی) است که چنین شرایطی در بیش‌تر نقاط دنیا وجود ندارد. به‌همین جهت محققان با استفاده از آمارهای زودیافت و قابل دسترس بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی اقدام به تهیه و محاسبه مقدار عامل فرسایندگی در مناطق فاقد ایستگاه باران‌نگاری می‌کنند. این شاخص‌های زودیافت از طریق تحلیل منطقه‌ای تولید رسوب و یا برقراری همبستگی و ارتباط با شاخص **EI30** به‌دست آمده‌اند. در همین رابطه، شاخص‌های فورنیه و فورنیه اصلاح شده از متداول‌ترین و معروف‌ترین شاخص‌های زودیافت فرسایندگی باران است (آرنولدز، ۱۹۸۰). بررسی پیشینه پژوهشی در دنیا و ایران در خصوص عامل فرسایندگی باران نشان می‌دهد که هر یک از محققین بسته به هدف مورد نظر و دسترسی به داده‌ها به جنبه خاصی از این مقوله پرداخته‌اند. در همین راستا وریلینگ و همکاران (۲۰۱۰) به برآورد مقدار فرسایندگی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای در آفریقا پرداختند. ایشان عامل فرسایندگی فورنیه اصلاح‌شده را نیز محاسبه کردند و نشان دادند که شاخص فورنیه اصلاح شده نسبت به نتایج مبتنی بر داده‌های ساعتی بهتر عمل کرده است. لوبو و بونیلا (۲۰۱۵) در تحلیل حساسیت ارتباط شدت-انرژی جنبشی و بیشینه شدت باران با استفاده از داده‌های طولانی‌مدت بارندگی دریافتند که انتخاب یک ارتباط انرژی جنبشی- شدت مناسب برای برآورد عامل فرسایندگی باران امری ضروری و مهم است. کین و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی توزیع مکانی و روند زمانی عامل فرسایندگی باران طی دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ در چین پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که مقدار عامل فرسایندگی از جنوب غرب به سمت جنوب شرق منطقه مطالعاتی در حال افزایش است. هومر و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با هدف بررسی تغییرات پتانسیل عامل فرسایندگی باران تحت سناریوهای تغییر اقلیم در منطقه جنوبی آپالاچین آمریکا به این نتیجه رسیدند که در سناریوهای تغییر اقلیم موردنظر بین ۷ تا ۴۹ درصد افزایش در مقدار فرسایندگی باران وجود خواهد داشت. در ایران نیز حکیم‌خانی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده شاخص فورنیه اصلاح شده براساس آمار ۲۰ ساله ۱۸۲ ایستگاه، اقدام به تهیه نقشه فرسایندگی باران حوضه دریاچه نمک کردند. صفرراد و همکاران (۱۳۸۸) با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار به مدل‌سازی عامل فرسایندگی باران فورنیه در حوضه آبخیز باش‌قشلاق پرداختند. ایشان با ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی با استفاده از روش اعتبارسنجی متوالی، به برتری روش معکوس وزنی فاصله نسبت به سایر روش‌ها دست یافتند. علی‌محمدپور و افسری (۱۳۹۱) به ارزیابی دقت و کارایی شاخص فورنیه و تجزیه عاملی در تهیه نقشه شدت فرسایش و مقایسه آن با روش **EPM** در حوضه های آبخیز مناطق نیمه‌خشک پرداختند. نتایج نشان داد که روش امتیازدهی عاملی نسبت به روش فورنیه به‌دلیل داشتن اختلاف نسبی کم‌تر در

مقایسه با مدل **EPM** مناسب‌تر است. احمدی و همکاران (۱۳۹۳) نیز پهنه‌های فرسایشی ناچیز، کم، متوسط و زیاد را با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده در استان قزوین مشخص کردند. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از آمار ۲۰ ساله ۷۰ ایستگاه باران‌نگاری در کل کشور، نقشه عامل فرسایندگی باران ویشمایر و اسمیت را تهیه و تغییرات مکانی و زمانی آن را تحلیل کردند. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با هدف تعیین توزیع‌های فراوانی بهینه عامل فرسایندگی باران در ایران به این نتیجه رسیدند که توزیع گمبل بیشینه در اکثر ماه‌ها و فصول به‌عنوان بهترین توزیع فراوانی برازش‌یافته انتخاب شده است. تأثیر تغییرات مکانی و همچنین مقیاس‌های زمانی بر انتخاب توزیع‌های فراوانی از دیگر نتایج پژوهش ایشان بود. زارع و همکاران (۱۳۹۶) در تعیین بهترین عامل فرسایندگی باران در استان فارس به این نتیجه رسیدند که شاخص فورنیه با ضریب تبیین ۸۰ درصد بیشترین همبستگی را با شاخص ویشمایر و اسمیت دارد. سکوتی اسکوئی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در بررسی شاخص فرسایندگی باران در استان آذربایجان غربی به همبستگی بالای شاخص فورنیه با شاخص ویشمایر و اسمیت در سطح ۹۵ درصد دست یافت. هم‌چنین نتایج ایشان روند کاهشی شاخص فرسایندگی باران از غرب به شرق منطقه مطالعاتی را نشان داد. جمع‌بندی پیشینه پژوهش گویای این امر است که علی‌رغم وجود مطالعات بسیار در خصوص برآورد و تهیه نقشه‌های عامل فرسایندگی باران در اقصی نقاط دنیا و هم‌چنین به‌دلیل نقش بسیار مؤثر و متغیر عامل فرسایندگی باران در تعیین مقدار فرسایش خاک در یک منطقه، لحاظ این فاکتور اقلیمی در مطالعات مرتبط با فرسایش خاک انکارناپذیر است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی عامل فرسایندگی باران فورنیه اصلاح شده به‌دلیل همبستگی بالای آن با شاخص ویشمایر و اسمیت (سکوتی اسکوی و همکاران، ۱۳۹۶؛ زارع و همکاران، ۱۳۹۶) در معادله جهانی فرسایش خاک و همچنین عدم وجود داده‌های باران‌نگاری با استفاده از داده‌های ۴۱ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره آماری ۴۲ ساله در حوضه آبخیز گرگانرود در شمال شرق ایران برنامه‌ریزی شده است. بررسی تغییرات زمانی عامل فرسایندگی باران و تعیین روند سری زمانی آن به‌ترتیب با استفاده از نمودارهای جعبه‌ای و روش ناپارامتری من-کندال طی دوره مطالعاتی از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گرگانرود به‌عنوان یکی از سه حوضه آبخیز اصلی در استان گلستان با مساحتی حدود ۱۱۴۱۱٫۸۷ کیلومتر مربع در جنوب شرقی دریای خزر و شمال شرق ایران و در محدوده جغرافیایی ′۲۸ °۵۶ تا ′۰۰ °۵۴ طول شرقی و ′۴۸ °۳۷ تا ′۳۵ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. کمینه و بیشینه ارتفاع از سطح دریا در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب برابر با ۹۶- و ۳٫۶۷۱ متر است. مقدار میانگین بارندگی سالانه در این منطقه از ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر است. کاربری اراضی جنگلی بخش عمده حوضه آبخیز گرگانرود را به خود اختصاص داده است و در شمال و غرب منطقه مورد مطالعه دشت‌های آبرفتی به‌صورت زراعت و مرتع در حال بهره‌برداری هستند. منطقه مطالعاتی در طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیم‌های خشک در نوار شمالی و نیمه‌خشک در نوار پایین‌تر است. همچنین دو ناحیه بسیار مرطوب در داخل ناحیه‌های مرطوب و پنج ناحیه مرطوب در داخل ناحیه‌های نیمه‌مرطوب قرار دارند (مساعدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ مصطفی‌زاده و شیخ، ۱۳۹۰). موقعیت منطقه مطالعاتی و پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در پژوهش حاضر در شکل (۱) ارایه شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز گرگانرود و محل ایستگاه‌های باران‌سنجی در ایران و استان گلستان

روش پژوهش

برای انجام پژوهش حاضر با مراجعه به سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان، داده‌های بارندگی ماهانه کلیه ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اخذ و پس از بررسی اولیه داده‌ها ضمن در نظر داشتن بیشینه طول دوره آماری و همچنین پراکنش مکانی مناسب ایستگاه‌های موجود، دوره مشترک آماری ۴۲ ساله (۱۳۹۴-۱۳۵۳) مشخص و نواقص آماری موجود در داده‌های ایستگاه‌های مطالعاتی از طریق روش همبستگی بین ایستگاه‌ها تکمیل شد. شایان گفتن است که به منظور تعیین الگوی مکانی عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز مطالعاتی از داده‌ها و اطلاعات ۴۱ ایستگاه در داخل و خارج از حوضه استفاده شد. اما بررسی تغییرات زمانی عامل فرسایندگی باران تنها در ۲۸ ایستگاه داخل حوضه صورت پذیرفت. به‌دلیل وجود ایستگاه‌های باران‌سنجی در محدوده نزدیک به ایستگاه‌های همدید و نیز عدم همخوانی آمار ماه‌های شمسی و میلادی در ایستگاه‌های همدید، فقط از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو بر مبنای سال آبی استفاده شده است.

به‌منظور تحلیل الگوهای تغییرپذیری زمانی و مکانی عامل فرسایندگی باران از شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده به‌سبب در دسترس بودن داده‌های موردنیاز، تعداد ایستگاه‌های مناسب دارای آمار بارندگی، دوره آماری طولانی و مناسب و همچنین ضرورت وضعیت توزیع بارندگی در تمام ماه‌های سال علاوه بر پوشش معنی‌دار مرطوب‌ترین ماه استفاده شد (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۴؛ آرنولدز، ۱۹۷۷؛ فرو و پورتو، ۱۹۹۹). شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده (**F**) براساس رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P} \qquad (۱)$$

که در آن، **F** شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح‌شده، **Pi** مجموع بارندگی ماهانه و **P** متوسط مجموع بارش سالانه در بلند مدت است و همه عناصر این رابطه بر حسب میلی‌متر هستند. در محاسبه عامل فرسایندگی فورنیه اصلاح شده به نوع بارش از قبیل باران (حتی با شدت‌های مختلف)، برف و تگرگ پرداخته نشده است و در همه روابط و معادلات محاسبه فرسایندگی، عامل فرسایندگی باران مد نظر می‌باشد. شایان گفتن است که انواع بارش از قبیل بارش نرم و برف نیز فرسایندگی ناچیز داشته و قابل اغماض است. در خصوص در نظر گرفتن توزیع فصلی بارش و توزیع فرسایش خاک در فصول مختلف، باید اشاره شود که مقیاس موردنظر در شاخص

فورنیه اصلاح شده، سالانه است که توزیع فصلی بارش‌ها مدنظر قرار نگرفته است. پس از محاسبه مقدار شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده طی دوره آماری مورد مطالعه برای تحلیل الگوی تغییرات مکانی شاخص مذکور، از روش معکوس وزنی فاصله[1] استفاده شد (ذبیحی و همکاران، ۱۳۹۴). پس از پهنه‌بندی شاخص فرسایندگی، با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی[2] (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۲)، نقشه به‌دست آمده به چهار طبقه با خطر فرسایندگی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد. تعیین روند سری زمانی عامل فرسایندگی باران نیز با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال انجام شد. روش‌های ناپارامتری به‌دلیل وجود نواقص آماری در سری‌های داده‌های هیدرومتئورولوژی و عدم پیروی بیشتر این سری‌ها از یک توزیع آماری خاص از کاربردی نسبتاً گسترده‌تر نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند (یو و پیلون، ۲۰۰۴). آزمون ناپارامتری من-کندال اولین بار به‌وسیله مان (۱۹۴۵) استفاده شد و سپس کندال (۱۹۷۵) آن را بسط داده و توزیع آماری آزمون را به‌دست آورد. آزمون ناپارامتری من-کندال تابع توزیع مشخصی برای سری داده‌ها فرض نمی‌کند، درحالی‌که قدرت تشخیص آن نیز به اندازه آزمون‌های پارامتریک است. علاوه بر این تغییرات زمانی عامل فرسایندگی باران از طریق محاسبه و ترسیم پلات‌های جعبه‌ای صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

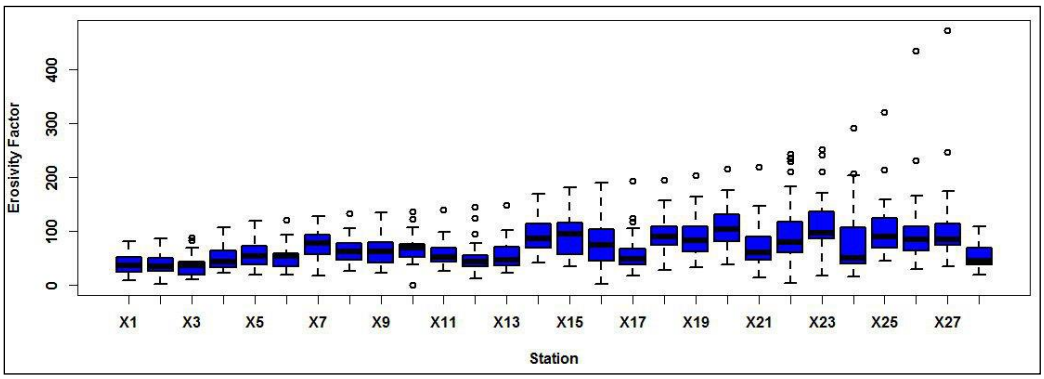
نتایج حاصل از محاسبه خصوصیات آماری عامل فرسایندگی باران طی دوره مطالعاتی در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) ارایه شده است. بررسی تغییرات زمانی عامل فرسایندگی باران با استفاده از نمودار جعبه‌ای در شکل (۲) و نتایج آزمون روند من-کندال در ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۲) ارایه شده است.

جدول ۱- خصوصیات آماری محاسباتی عامل فرسایندگی باران (میلیمتر) ایستگاه‌های مطالعاتی در حوضه آبخیز گرگانرود

ردیف	ایستگاه	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۱	چشمه‌خان	۳۹,۲۹	۷۹,۸۹	۵۵,۸	۱۸,۷۵	۴۷,۷۲
۲	تیل‌آباد	۳۸,۹۲	۸۶	۰,۳	۲۰,۷۹	۵۳,۴
۳	رباط قره‌بیل	۳۴,۵۷	۸۶,۵۲	۹,۶۸	۱۹,۷۸	۵۷,۲۱
۴	باغ‌سالیان	۴۷,۷۱	۱۰۶,۱۹	۲۱,۷۴	۲۰,۸۵	۴۳,۷۱
۵	قلعه جیق	۵۲,۶۴	۱۰۸,۶	۱۷,۹۸	۲۴,۹۱	۴۷,۳۲
۶	آق‌قلا	۵۷,۱۱	۱۱۹,۰۷	۱۸,۲۳	۲۳,۹۱	۴۱,۸۷
۷	قزاقلی	۴۹,۷۵	۱۱۹,۲۷	۱۷,۶۸	۲۰,۹۷	۴۲,۱۵
۸	فاضل‌آباد	۷۴,۵۴	۱۲۷,۷۸	۱۶,۱۶	۲۴,۸۵	۳۳,۳۴
۹	لاله باغ	۶۲,۳۷	۱۳۱,۳۸	۲۴,۷۸	۲۳,۴۸	۳۷,۶۴
۱۰	غفارحاجی	۶۱,۰۴	۱۳۳,۴۴	۲۱,۰۲	۲۵,۲۵	۴۱,۳۷
۱۱	تقی‌آباد	۶۷,۵۹	۱۳۵,۰۹	۰	۲۶,۳۴	۳۸,۹۸
۱۲	ارازکوسه	۵۷,۰۷	۱۳۹,۸۴	۲۴,۷	۲۲,۳۷	۳۹,۱۹
۱۳	سدگرگان	۴۹,۸۰	۱۴۴,۴۶	۱۲,۲۷	۲۷,۶۵	۵۵,۵۱
۱۴	گنبد	۵۵,۲۵	۱۴۷,۲۴	۲۱,۹۷	۲۵,۸۷	۴۶,۸۲
۱۵	زرینگل	۹۰,۶۲	۱۶۸,۳۳	۴۱	۳۱,۳۳	۳۴,۵۷
۱۶	نوده	۹۴,۶۲	۱۸۱,۰۶	۳۴,۵۲	۳۶,۶۲	۳۸,۷
۱۷	کبودوال	۷۷,۸۱	۱۸۸,۳۳	۱,۰۵	۴۱,۴۴	۵۳,۲۶
۱۸	بهلکه داشلی	۵۷,۳۱	۱۹۲,۵۳	۱۷,۰۶	۳۵,۰۵	۶۱,۱۶
۱۹	سرمو	۹۱,۲۳	۱۹۴,۵۴	۲۶,۸۱	۳۳,۷۸	۳۷,۰۲
۲۰	تنگراه	۸۹,۱۰	۲۰۳,۴۳	۳۱,۵۹	۳۸,۰۱	۴۲,۶۶
۲۱	رامیان	۱۰۷,۷۶	۲۱۴,۱۸	۳۷,۲۶	۳۵,۹۲	۳۳,۳۳
۲۲	تمر	۶۸,۴۴	۲۱۷,۸۷	۱۲,۵۳	۴۰,۶۴	۵۹,۳۸
۲۳	مینودشت	۹۹,۴۲	۲۴۳,۱۲	۲,۲۷	۶۵,۵۵	۶۵,۹۴
۲۴	پس‌پشته	۱۱۱,۱۶	۲۵۰,۷۸	۱۵,۸۶	۵۱,۵۲	۴۶,۳۵
۲۵	پیش‌کمر	۷۵,۹۲	۲۹۱,۱۵	۱۵,۴۲	۶۰,۵۲	۷۹,۷۲
۲۶	لزوره	۱۰۳,۵۷	۳۲۰,۲۷	۴۳,۹۶	۵۲,۶۷	۵۰,۸۵
۲۷	گالیکش	۹۸,۰۵	۴۳۳,۵۷	۲۸,۹۴	۷۱,۵۵	۷۲,۹۷
۲۸	قلی‌تپه	۱۰۶,۹۱	۴۷۱,۷۴	۳۳,۹۶	۷۶,۶۵	۷۱,۶۹

1- Inverse Distance Weighting, IDW
2- Natural Breaks

بر اساس نتایج به‌دست آمده در جدول (۱) میانگین عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز گرگانرود ۷۳,۰۸ میلی‌متر محاسبه شد. ایستگاه‌های رباط قره‌بیل و پس‌پشته به‌ترتیب با ۳۴,۵۷ و ۱۱۱,۱۶ میلی‌متر کمترین و بیشترین مقدار میانگین عامل فرسایندگی باران در بین ایستگاه‌های مطالعاتی را به خود اختصاص دادند. قرارگیری ایستگاه رباط قره‌بیل در استان خراسان‌شمالی و اقلیم متفاوت آن با سایر ایستگاه‌ها را می‌توان از جمله دلایل کمینه مقدار عامل فرسایندگی در بین ایستگاه‌های مطالعاتی دانست. در همین راستا ضریب تغییرات مقادیر میانگین عامل فرسایندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۳۲,۳۹ درصد محاسبه شد. اگر چه مقادیر بیشینه و کمینه ضریب تغییرات در منطقه مطالعاتی با مقدار ۷۹,۷۲ و ۳۳,۳۳ درصد به‌ترتیب در ایستگاه‌های پیش‌کمر و رامیان به‌وقوع پیوست. بررسی مقادیر بیشینه عامل فرسایندگی در هریک از ایستگاه‌های موجود طی دوره مطالعاتی در حوضه آبخیز گرگانرود نشان می‌دهد که ایستگاه‌های گالیکش و چشمه‌خان به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند.

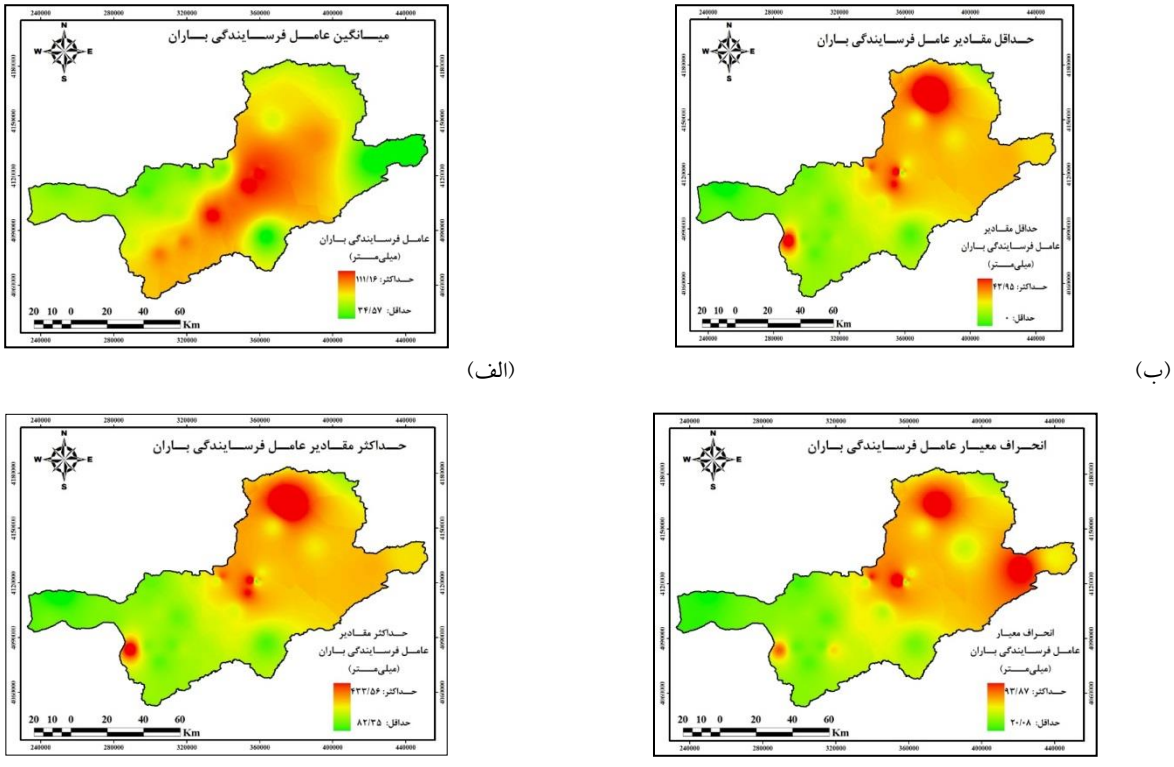


شکل ۲- نمودار جعبه‌ای مقادیر عامل فرسایندگی باران (میلیمتر) در ایستگاه‌های مطالعاتی حوضه آبخیز گرگانرود

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون روند ناپارامتری من-کندال عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز گرگانرود

ردیف	ایستگاه	آماره من‌کندال	ردیف	ایستگاه	آماره من‌کندال	ردیف	ایستگاه	آماره من‌کندال
۱	چشمه‌خان	-۱,۳۳	۱۱	تقی‌آباد	۰,۳۴	۲۱	رامیان	-۱,۶۶
۲	تیل‌آباد	-۰,۴۴	۱۲	ارازکوسه	-۰,۵۳	۲۲	تمر	۲,۶
۳	رباط‌قره‌بیل	۰,۱۳	۱۳	سدگرگان	۰,۲۹	۲۳	مینودشت	-۱,۶۳
۴	باغ‌سالیان	۲,۶۳	۱۴	گنبد	۱,۶	۲۴	پس‌پشته	-۱,۹۸
۵	قلعه‌جیق	۱,۵۴	۱۵	زرینگل	۰,۶۸	۲۵	پیشکمر	-۰,۱۴
۶	آق‌قلا	-۰,۷۱	۱۶	نوده	۱,۷۸	۲۶	لزوره	-۰,۱۱
۷	قزاقلی	۰,۲۳	۱۷	کبودوال	-۰,۰۲	۲۷	گالیکش	۰,۸
۸	فاضل‌آباد	۰,۳۸	۱۸	بهلکه‌داشلی	-۲,۶	۲۸	قلی‌تپه	۰,۸۳
۹	لاله‌باغ	-۲,۶۸	۱۹	سرمو	۰,۲۹	-	-	-
۱۰	غفارحاجی	۰,۶۲	۲۰	تنگراه	۱,۶۸	-	-	-

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر و ارایه شده در جدول (۲)، تنها ده ایستگاه باران‌سنجی مورد مطالعه روند کاهشی عامل فرسایندگی باران را از خود نشان دادند. در ۱۱ ایستگاه از ۲۸ ایستگاه مطالعاتی روند کاهشی عامل فرسایندگی باران تشخیص داده شده است که تنها در دو ایستگاه لاله‌باغ و پس‌پشته روند کاهشی معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۰,۰۵ است. در مقابل، عامل فرسایندگی باران در ۱۶ ایستگاه مطالعاتی روند افزایشی را نشان داد که تنها ایستگاه‌های باغ‌سالیان و تمر روند افزایشی معنی‌دار داشته اند. یک ایستگاه نیز فاقد روند تشخیص داده شد. لحاظ کردن وضعیت افزایشی و کاهشی روند زمانی عامل فرسایندگی باران به‌دست آمده در مطالعه حاضر (جدول ۲) می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای تعیین مناطق پرخطر از نظر پتانسیل وقوع فرسایش درنظر گرفته شود. تغییرات مکانی عامل فرسایندگی باران با استفاده از تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی شده به‌منظور اولویت‌بندی مناطق با پتانسیل فرسایندگی متفاوت برای مدیریت مناسب در راستای حفاظت خاک است. در همین راستا، نتایج حاصل از بررسی توزیع مکانی مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه و انحراف معیار عامل فرسایندگی باران در شکل ۳ (الف تا د) ارایه شده است. بر اساس یافته‌های مذکور مقادیر میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار عامل فرسایندگی باران در سطح حوضه آبخیز گرگانرود به‌ترتیب برابر با ۷۳,۰۸، ۱۱۱,۱۵، ۳۴,۵۷ و ۱۴,۸۴ میلی‌متر به‌دست آمد.

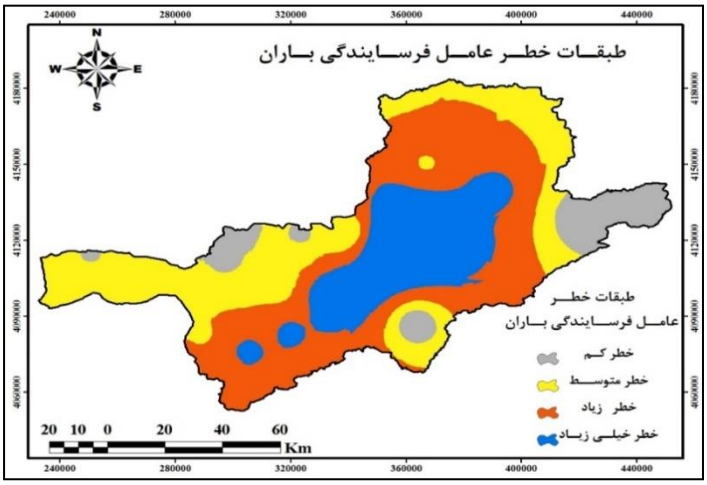


(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۳- توزیع مکانی مقادیر میانگین (الف)، کمینه (ب)، بیشینه (ج) و انحراف معیار (د) عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز گرگانرود

بر اساس یافته‌های ارایه شده در شکل (۳-الف) بخش‌های میانی حوضه آبخیز مطالعاتی بیشترین مقدار میانگین عامل فرسایندگی را دارد. این مقدار به سمت بخش‌های شرقی و غربی حوضه رو به کاهش است؛ به‌نحوی که کمترین مقدار میانگین عامل فرسایندگی باران در شرقی‌ترین و غربی‌ترین بخش حوضه به‌وقوع پیوسته است. لیکن الگوی مکانی مقادیر

بیشینه هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی (شکل ۳-الف) متفاوت از الگوی مکانی مقادیر میانگین طی همان دوره مطالعاتی است. بدین صورت که بیشترین مقدار عامل فرسایندگی در بین مقادیر بیشینه هر یک از ایستگاه‌ها در شمال شرقی حوضه آبخیز گرگانرود به‌وقوع پیوسته است. همچنین بخش کوچکی از مرکز و شرق حوضه آبخیز مطالعاتی از بیش‌ترین مقدار فرسایندگی برخوردار است. شایان ذکر است که الگوی مکانی مذکور با الگوی مکانی مقادیر کمینه محاسباتی در هر یک از ایستگاه‌های حوضه آبخیز مورد مطالعه مشابه است. با توجه به نتایج ارایه شده در شکل (۳-د) و مقادیر کمینه و بیشینه انحراف معیار و هم‌چنین مقدار محاسبه شده میانگین عامل فرسایندگی، مقادیر میانگین عامل فرسایندگی باران از توزیع نرمال نیز برخوردار هستند. لحاظ کردن مقادیر میانگین عامل فرسایندگی باران به‌منظور انجام اقدامات حفاظت آب و خاک در صورت وقوع مقادیر بیشینه با مشکل مواجه خواهد شد و مدیریت اقدامات مذکور را با چالش جدی روبرو خواهد کرد؛ چرا که بخش اعظم فرسایش خاک ممکن است ناشی از وقوع وقایع حدی باشد (بگرلو و همکاران، ۲۰۱۱). طبقات خطر عامل فرسایندگی باران حوضه آبخیز گرگانرود نیز در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ٤- نقشه طبقات خطر عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز گرگانرود

بر اساس نتایج ارایه شده در شکل (۴) می‌توان دریافت که طبقه خطر کم عامل فرسایندگی باران بخش‌هایی در شرق حوضه آبخیز مطالعاتی و همچنین بخش کوچکی از شمال و جنوب حوضه را به خود اختصاص داده است. بخش مرکزی حوضه آبخیز گرگانرود نیز تحت پوشش خطر فرسایندگی بسیار زیاد قرار دارد و طبقه خطر زیاد عامل فرسایندگی به‌صورت نواری آن را پوشانده است. این نتایج می‌تواند در اولویت‌بندی مناطق مختلف به‌منظور انجام اقدامات حفاظتی جهت کاهش اثر عامل فرسایندگی باران بر مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب مورد استفاده قرار گیرد. سطح تحت پوشش طبقات مختلف خطر عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز گرگانرود در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- سطح تحت پوشش طبقات مختلف خطر عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز گرگانرود

طبقه	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
کم	۱۱۰۴/۲۸	۹/۶۸
متوسط	۳۵۶۶/۸۱	۳۱/۲۶
زیاد	۴۲۷۲/۷۲	۳۷/۴۴
خیلی زیاد	۲۴۶۸/۰۶	۲۱/۶۳
مجموع	۱۱۴۱۱/۸۷	۱۰۰

بر اساس نتایج ارایه شده در جدول (۳)، بیشترین طبقه خطر عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز گرگانرود مربوط به طبقه خطر زیاد با مساحتی برابر با ۴۲۷۲,۷۲ کیلومترمربع است. طبقه خطر کم نیز با مساحتی برابر با ۱۱۰۴,۲۸ حدود ۹,۶۸ درصد از منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده است. در بررسی طبقات مختلف خطر عامل فرسایندگی باران مشاهده شد که طبقات خطر زیاد، متوسط، خیلی زیاد و کم به‌ترتیب در جایگاه‌های اول تا چهارم قرار گرفته‌اند. این نتایج می‌تواند در اولویت‌بندی و تعیین مناطق جهت اقدامات حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد.

٤- نتیجه‌گیری

بررسی عامل فرسایندگی باران با توجه به تغییرات زیاد آن بسته به منطقه جغرافیایی، مقیاس و شرایط محلی از اهمیت زیادی برخوردار است. در همین ارتباط پژوهش حاضر با هدف بررسی الگوهای تغییرات مکانی و زمانی عامل فرسایندگی باران در حوضه آبخیز گرگانرود در شمال شرق کشور صورت پذیرفت. بر اساس نتایج، الگوی مکانی مقادیر میانگین و بیشینه عامل فرسایندگی باران با یکدیگر متفاوت است. در همین خصوص با توجه به تفاوت الگوی مکانی عامل فرسایندگی باران منتج از مقادیر میانگین، بیشینه (مقدار بیشینه طی دوره مطالعاتی در هر یک از ایستگاه‌ها) و کمینه (مقدار کمینه طی دوره مطالعاتی در هر یک از ایستگاه‌ها) تکیه بر اقدامات حفاظت خاک و آب معطوف به مقادیر میانگین عامل فرسایندگی باران می‌تواند سبب کم‌برآوردی خطر فرسایش و در نتیجه عدم تناسب اقدامات حفاظتی در مناطق تحت مدیریت شود. بنابراین به‌نظر می‌رسد نوع مدیریت اعمال شده برای حفاظت خاک و مهار فرسایش باید مبتنی بر بیشینه خطر بالقوه وقوع فرسایش باشد که استفاده از مقادیر بیشینه در تخمین عامل فرسایندگی باران را می‌توان در این ارتباط ارزیابی کرد. با توجه به روند افزایشی در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی، نتیجه به‌دست آمده نشان‌دهنده روند رو به رشد خطر وقوع فرسایش خاک است که باید در ارایه راهکارها و برنامه‌های مدیریتی منطقه مورد مطالعه مدنظر مدیران و تصمیم‌گیران قرار گیرد. ضمناً باید توجه کرد که در محاسبه عامل فرسایندگی، دوره آماری به گونه‌ای انتخاب شود تا تحت‌تأثیر دوره‌های خشکسالی و ترسالی قرار نگیرد تا بتوان ارزیابی صحیحی از این امر داشت. شایان ذکر است که بررسی عامل فرسایندگی باران، تنها به‌عنوان یک عامل بالقوه در برآورد میزان فرسایش مدنظر است، این در حالی است که اتخاذ تصمیم‌های صحیح به‌منظور مدیریت فرسایش خاک نیازمند اطلاعات بیشتر در خصوص سایر عوامل موثر از جمله پوشش گیاهی و خاک با توجه به تنوع آن در منطقه مطالعاتی است که پیشنهاد می‌شود در مطالعات برآورد دقیق فرسایش مورد توجه قرار گیرد.

منابع

۱- احمدی، ح. ، جوادی، م. ر. ، صلواتی، ع. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی قدرت فرسایندگی باران به روش فورنیه با استفاده از برخی روش‌های درون‌یابی (مطالعه موردی: استان قزوین)، اکوسیستم‌های طبیعی ایران، سال ۵، شماره ۲، ص ۱۴-۱.

۲- امیدوار، ک. (۱۳۹۴). درآمدی بر حفاظت خاک و آبخیزداری، انتشارات دانشگاه یزد، چاپ سوم، ۲۹۲ ص.

۳- حسینی، س. ص. ، قربانی، م. (۱۳۸۴). اقتصاد فرسایش خاک، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۲۸ ص.

۴- حکیم‌خانی، ش. ، مهدیان، م. ح. ، عرب‌خدری، م. (۱۳۸۶). تهیه نقشه فرسایندگی باران برای حوضه دریاچه نمک، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۰، شماره ۳، ص ۷۲۶-۷۱۳.

۵- حکیم‌خانی، ش. ، مهدیان، م. ح. ، عرب‌خدری، م. ، قربان‌پور، د. (۱۳۸۴). بررسی فرسایندگی باران در سطح کشور، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، ۹-۶ شهریور ۱۳۸۴، ص ۲۸۸-۲۸۱.

۶- ذبیحی، م. ، صادقی، س. ح. ر. ، وفاخواه، م. (۱۳۹۴). تحلیل الگوهای مکانی عامل فرسایندگی باران در مقیاس‌های

زمانی متفاوت در ایران، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۷، شماره ۴، ص ۴۵۷-۴۴۲.

۷- ذبیحی، م. ، صادقی، س. ح. ر. ، وفاخواه، م. (۱۳۹۵). توزیع‌های فراوانی بهینه عامل فرسایندگی باران در ایران، حفاظت آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۱، ص ۳۰۶-۳۰۱.

۸- زارع، س. ، سلطانی‌گرد فرامرزی، س. ، تازه، م. (۱۳۹۶). تعیین بهترین شاخص فرسایندگی باران در استان فارس و پهنه‌بندی آن، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۸، ص ۲۴۴-۲۳۱.

۹- سکوتی‌اسکوئی، ر. ، نیک‌کامی، د. ، بروشکه، ا. (۱۳۹۶). بررسی شاخص فرسایندگی باران استان آذربایجان‌غربی برای تهیه نقشه هم‌فرسای بارندگی، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال هشتم، شماره ۱۵، ص ۴۴-۳۶.

۱۰- صفرراد، ط. ، هاشمی، س. ه. ، امینی، ج. (۱۳۸۸). بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار در مدل‌سازی فرسایندگی باران با استفاده از روش فورنیه (مطالعه موردی: حوضه آبریز باش قشلاق)، همایش سراسری سامانه اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ص ۴۱۶-۴۰۹.

۱۱- علی‌محمدپور، آ. ، افسری، ر. ا. (۱۳۹۱). ارزیابی دقت و کارایی روش شاخص فورنیه و تجزیه عاملی در تهیه نقشه شدت فرسایش و مقایسه آن با روش **EPM** در حوضه های آبخیز نیمه‌خشک، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال ۱، شماره ۲، ص ۵۲-۴۲.

۱۲- مساعدی، ا. ا. ، خلیلی‌زاده، م. ، محمدی‌استادکلایه، ا. (۱۳۸۷). پایش خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد ۱۵، شماره ۲، ص ۱۸۳-۱۷۶.

۱۳- مصطفی‌زاده، ر. ، شیخ، و. ب. (۱۳۹۰). بررسی تراکم شبکه باران‌سنجی استان گلستان با استفاده از روش همبستگی مکانی، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۳، ص ۸۷-۷۹.

14- Arnoldus, H.M.J., (1980), an approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. Assessment of Erosion, Chichester, New York, PP. 127-132.

15- 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, No. 34, PP. 39-51.

16- Bagarello, V., Di Stefano, C., Ferro, V., & Pampalone, V., (2011), Using plot soil loss distribution or soil conservation design. Catena, Vol. 86, No. 1, PP. 172-177.

17- Ferro, V., & Porto, P., (1999), A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. Hydrological Sciences Journal, Vol. 44, No. 1, PP. 3-24.

18- Hoomehr, S., Schwartz, J.S., & Yoder, D.C., (2016), Potential changes in rainfall erosivity under GCM climate change scenarios for the southern Appalachian region, USA. Catena, Vol. 136, PP. 141-151.

19- Hoyos, N., Waylen, P.R., & Jaramillo, A., (2005), Seasonal and spatial patterns of erosivity in a Tropical watershed of the Colombian Andes. Journal of Hydrology, Vol. 314, No. 4, PP. 177-191.

20- Kendall, M.G., (1975), Rank correlation methods. Griffin, London, pp 108.

21- Khaledi Darvishan, A.V., Banasik, K., Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., & Hejduk, L., (2015), Effects of rain intensity and initial soil moisture on hydrological responses in laboratory conditions. International Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Vol. 29, No. 2, PP. 165-173.

22- Leguedois, S., Planchon, O., Legout, C., & Le Bissonnais, Y., (2005), Splash projection distance for aggregated soils. Soil Sciences Society of America Journal, Vol. 69, No. 1, PP. 30-37.

23- Lobo, G.P., & Bonilla, C.A., (2015), Sensitivity analysis of kinetic energy-intensity relationships and maximum rainfall intensities on rainfall erosivity using a long-term precipitation dataset. Journal of Hydrology, Vol. 527, PP. 788-793.

24- Mann, H.B., (1945), nonparametric tests against trend. Econometrica, Vol. 13, No. 3, PP. 245-259.

25- Oldeman, L.R., (1994), the global extent of soil degradation. In: Greenland, D.J., and Szabolcs, I., Eds, Soil Resilience and Sustainable Land use, CAB International, Wallingford. PP. 99-119.