



## مدیریت فرسایش خاک در اراضی کشاورزی با استفاده از نقشه‌های دقیق هم‌فرسای باران (مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات پخش سیلاب سهرین قره‌چریان، استان زنجان)

محمد همتی<sup>۱\*</sup>، حسن احمدی<sup>۲</sup>، داود نیک‌کامی<sup>۳</sup>، غلام‌رضا زهتابیان<sup>۲</sup>، محمد جعفری<sup>۲</sup>

### چکیده

بررسی‌ها در سطح دنیا نشان می‌دهد که به‌رغم استفاده گسترده از شاخص فرساینده  $EI_{30}$  به عنوان بهترین شاخص فرساینده باران، در بسیاری از نقاط شاخص مزبور از اعتبار کافی برخوردار نبوده و ضروری است تا با توجه به شرایط جغرافیایی هر منطقه، بهترین شاخص فرساینده باران تعیین و بر اساس آن نقشه‌های دقیق فرساینده باران برای مدیریت صحیح و خردمندانانه حوزه‌های آبخیز و اراضی کشاورزی تهیه شود. در این تحقیق ۱۸ کرت رواناب و رسوب در دو تیمار شخم در جهت شیب و شخم عمود بر جهت شیب (هر یک با سه تکرار) در کاربری کشت گندم دیم، در سه طبقه شیب اراضی (۱۲-، ۰، ۲۰- ۱۲ و ۴۰- ۲۰ درصد) در ایستگاه پخش سیلاب سهرین در استان زنجان، احداث شدند. مقادیر رواناب و رسوب هر یک از کرت‌ها در ۱۴ واقع بارش که منجر به ایجاد رواناب و تلفات خاک شده بود، پایش و اندازه‌گیری شد. اطلاعات شدت و مقدار رگبارها نیز با استفاده از باران‌نگار ثبات دیجیتالی واقع در محل ایستگاه، ثبت و مورد استفاده واقع شدند. سپس با توجه به مرور منابع گسترده در سطح جهان، در نهایت ۴۵ شاخص فرساینده باران شناسایی شد. با تهیه یک برنامه کامپیوتری با استفاده از زبان برنامه‌نویسی  $VB$ ، هر یک از رگبارها تجزیه و تحلیل شده و مقادیر هر یک از شاخص‌های فرساینده باران برای هر یک از رگبارها تعیین شد. مطالعه‌های تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار  $SPSS$  بین هر یک از شاخص‌های فرساینده باران و مقادیر تلفات خاک انجام شد. نتیجه نشان داد که در منطقه‌ی مورد مطالعه شاخص فرساینده  $I^2$  (مربع شدت متوسط رگبار) به عنوان بهترین شاخص فرساینده باران بالاترین مقدار همبستگی (ضریب همبستگی ۰/۸۹) را با سطح معنی‌داری ۱۰۰ درصد با مقادیر تلفات خاک داشته است. در پایان با معرفی فرایند نحوه‌ی سنتز نقشه هم‌فرسای باران در محیط نرم افزار  $GIS ARC$ ، چگونگی استفاده از آن در مدیریت فرسایش خاک تشریح شده است.

**کلمه‌های کلیدی:** شاخص فرساینده باران، فرسایش قطره بارانی، کشت دیم، مدیریت فرسایش خاک

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه آبخیزداری، تهران، ایران

\* مسئول مکاتبه. (moh\_hemmati2051@yahoo.com)

۲- دانشگاه تهران، گروه مرتع و آبخیزداری، تهران، ایران

۳- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: تابستان ۱۳۸۹ تاریخ پذیرش: پاییز ۱۳۸۹

## مقدمه

امروزه اثرات فرسایش ناشی از دخالت بشر یا فرسایش تشدید یافته تنها در محل اصلی وقوع آن به صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، بلکه در خارج از محل حدوث آن به صورت انباشت و ترکیب مواد بر روی اراضی مرغوب کشاورزی و یا منابع ذخیره آب و همچنین ایجاد گل آلودگی، بیش از هر موقع دیگری برای جوامع بشری مشهود می‌باشد. برای کنترل فرسایش ابتدا لازم است عوامل مؤثر شناسایی و فرایندهای حاکم بر آن مورد ارزیابی قرار گرفته تا با کنترل این عوامل و اثرات متقابل آنها بتوان فرآیند تخریب را تحت نظارت قرار داده و آن را مهار کرد. در مقیاس جهانی نزدیک به ۲ بیلیون هکتار و یا در حدود ۱۳ درصد از سطح کره زمین در قبال تخریب‌های ناشی از اثرات منفی انسان دچار مشکل شده است و در این بین (Oldeman et al., 1991) فرسایش آبی دلیل اصلی این تخریب بوده است. طبق آمار ارائه شده میزان فرسایش خاک در ایران سالانه ۱۶/۶ تن در هکتار است و آمارها روند صعودی فرسایش خاک در کشور را نشان می‌دهد، با این تفاسیر رعایت اصول علمی کشاورزی و آگاهی داشتن کشاورزان و بهره‌برداران از روش‌های صحیح کشت و بهره‌برداری، ضروری است. بر اساس تحقیقات مدون در طی ۷۰ سال گذشته مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش اراضی کشاورزی خصوصیات بارش اعم از شدت، مدت و توزیع آن در طول بارندگی می‌باشد (شاهویی، ۱۳۷۴). مطالعه‌های الیسون (1950) این واقعیت را آشکار ساخت که فرسایش پاشمانی ناشی از برخورد قطرات باران تحت تأثیر خصوصیات بارش بوده که نخست موجب جدا کردن ذرات از توده خاک شده و سپس با کاهش

نفوذپذیری و ایجاد سله در خاک سطحی منجر به ایجاد شرایطی مناسب برای افزایش رواناب و انتقال ذرات کنده شده توسط هرزآب می‌شود.

در همین راستا (Neysen et al, 2004) اشاره داشتند که گذشته از اهمیت باران در کشاورزی، در مراحل اولیه‌ی فرسایش آبی نیروی فرساینده‌ی منتج از باران با کندن ذرات خاک و ایجاد رواناب سطحی مهم‌ترین تأثیر را در پدیده فرسایش دارد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که میزان هدر رفت خاک در دو رگبار متفاوت بر روی یک خاک معین متفاوت بوده و وابسته به شدت فرساینده‌ی باران باشد.

اگر سایر خصوصیات مؤثر بر فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان تلفات خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده‌ی باران خواهد بود.

فرساینده‌ی باران، نیروی محرکه یا توان عوامل فرسایش‌زا در جداسازی و انتقال ذرات خاک است (Eliot & Lal 1994). برخورد قطرات باران با زمین مهم‌ترین عامل جدا کننده ذرات خاک است، در شرایط طبیعی فرسایش به ترکیبی از قدرت باران در ایجاد فرسایش و نیز توانایی خاک در تحمل باران بستگی دارد، به عبارتی فرسایش تابعی از فرساینده‌ی (Erosivity) برای باران و فرسایش‌پذیری (Erodibility) برای خاک است. برای کم کردن مقدار فرساینده‌ی باران شاخص‌های مختلفی در سطح دنیا معرفی شده‌اند، به طور کلی در این شاخص‌ها، برخی بر مقدار بارش و برخی دیگر بر شدت بارش و نیز انرژی جنبشی آن تأکید داشته‌اند، مانند این موارد در گروه اول می‌توان به شاخص‌های (Fournier, 1976) اصلاح شده یا (Arnoldos, 1977) و شاخص‌های  $EI_{30}$  (Wischmeier & Smith, 1978) شاخص  $KE > 1$  (Hudson, 1971) برای جنوب آفریقا و

سال ۱۳۸۱ شروع شد و در حال حاضر نیز آماربرداری و ثبت اطلاعات مربوط به رواناب، تلفات خاک و نیز داده‌های بارش به طور مستمر انجام می‌پذیرد. محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح به نام ارمغانخانه (Sheet Number I5663I) واقع است، به طوری که این ایستگاه در ۳۵ کیلومتری شمال غربی زنجان و در محدوده جغرافیایی ۴۸°۱۸' تا ۴۸°۲۵' طول شرقی و ۳۵°۴۸' تا ۳۵°۵۷' عرض شمالی به مساحت کل ۴۰۰ هکتار واقع شده است.

محدوده‌ی عرصه مورد مطالعه از شمال به جاده قره پشتلو و از جنوب به اراضی روستاهای قاهران و ینگه، از شرق به آبراهه سهرین و از غرب به آبراهه قره‌چریان محدود شده است. در این منطقه غالب کاربری‌ها شامل اراضی زراعی دیم و آیش می‌باشد که تحت زراعت گندم، جو، نخود، عدس و علوفه دیم قرار می‌گیرند (شکل ۱). موقعیت ایستگاه تحقیقات پخش سیلاب و حفاظت خاک سهرین زنجان را بر روی نقشه توپوگرافی نشان می‌دهد.

وضعیت اقلیمی محدوده‌ی مورد مطالعه در اقلیم‌نمای آمبرژه نیمه‌خشک سرد تعیین شده است. میانگین بارندگی محدوده با توجه به ایستگاه سینوپتیک زنجان طی یک دوره‌ی ۳۲ ساله، حدود ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

رژیم بارش‌ها مدیترانه‌ای بوده، به طوری که در این رژیم غالب بارش‌ها در فصل مرطوب روی می‌دهد. میزان بارش به ترتیب مقدار آن، به فصل بهار ۳۷/۶٪، زمستان ۳۲/۶٪، پاییز ۲۵/۳٪ و تابستان ۳/۶٪ تعلق دارد به لحاظ زمین‌چینه‌شناسی، تمام منطقه دشت سهرین - قره‌چریان به رسوبات آبرفتی کواترنر تعلق داشته و توسط رشته کوه‌های سلطانیه

$AI_m$  (Lal 1976) برای نیجریه اشاره کرد (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۴). از بین شاخص‌های موجود نیز شاخص  $EI_{30}$  یا  $R$  بیش از سایر شاخص‌ها برای برآورد فرساینده‌ی باران در دنیا به کار رفته است (Hoyos et al., 2005). این شاخص‌ها بسته به منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه‌گیری متفاوت از هم هستند. در نتیجه بدون بررسی‌ها و تحقیقات لازم نمی‌توان هیچ شاخصی را بهتر از شاخصی دیگر دانسته و از آن به عنوان شاخص جهانی فرساینده‌ی باران یاد کرد.

هدف اصلی این تحقیق نیز تعیین بهترین شاخص فرساینده‌ی باران برای منطقه جغرافیایی استان زنجان بوده که یکی از اقلیم‌های نیمه‌خشک ایران به شمار می‌آید و در کنار آن نیز معرفی مراحل ترسیم نقشه‌های دقیق هم‌فرسای باران برای تعیین الگوی مدیریت فرسایش اراضی کشاورزی از راه شناخت مناطق با خطر بالای فرسایش پاشمانی و نیز الویت‌بندی عملیات نگهداری خاک لازم می‌باشد.

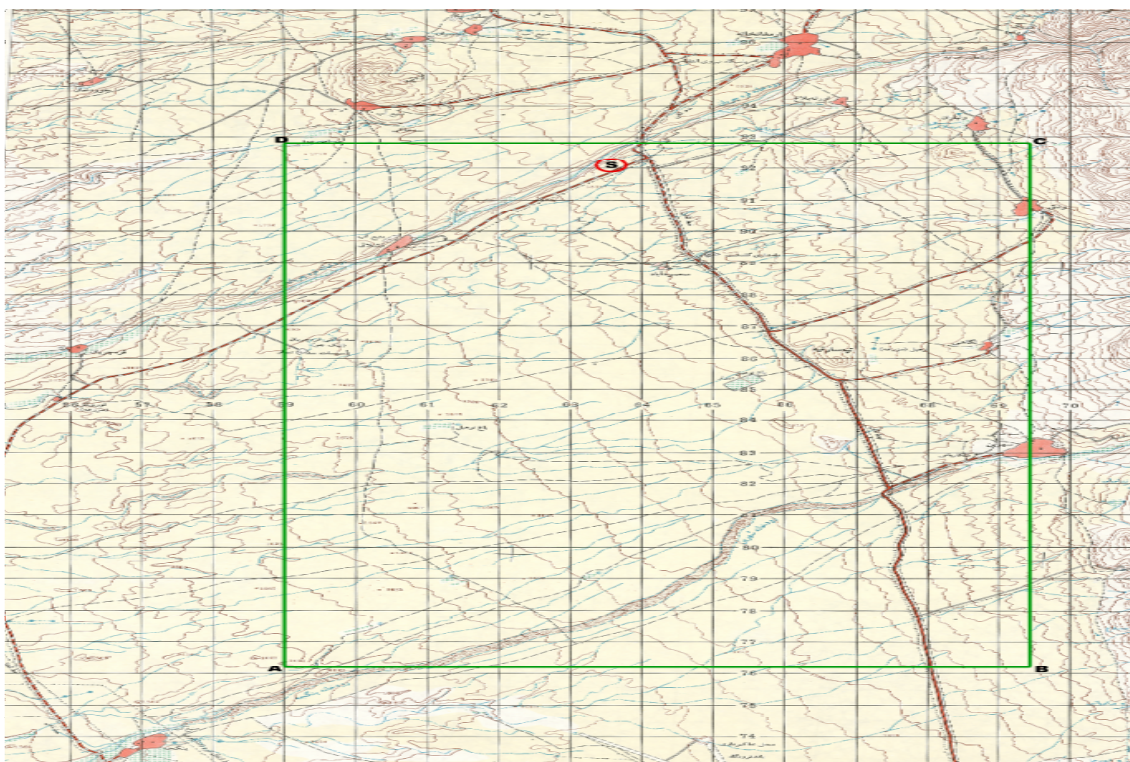
## مواد و روش‌ها

### معرفی عرصه مورد مطالعه

ایستگاه پخش سیلاب سهرین - قره‌چریان واقع در دشت سهرین به عنوان اولین ایستگاه پخش سیلاب استان زنجان در سال ۱۳۷۶ تأسیس و به بهره‌برداری رسید. پس از تکمیل این ایستگاه طرح پژوهشی بررسی اثرات برای شخم اراضی در میزان فرسایش خاک در این مجموعه تعریف و پیگیری شد، به طوری که وجود دامنه‌هایی با شیب‌های مختلف، بافت خاک مناسب زراعت دیم و نیز وجود ایستگاه باران‌نگار در محدوده عرصه آبخوان سهرین یکی از دلایل انتخاب این عرصه بود. در این طرح پس از احداث کرت‌ها در سال ۱۳۸۰، عملاً آماربرداری از

مرفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی آنها در منطقه مورد مطالعه دو رده انتی سول (Entisols) و اینسپتی سول (Inceptisols) قابل تشخیص است.

و طارم احاطه شده است، از دیدگاه فیزیوگرافی اراضی در محدوده مورد مطالعه، غالب اراضی دشت‌های رسوبی بادبزی شکل هستند. با توجه به رژیم حرارتی و رطوبتی خاک‌های موجود، وضعیت



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه تحقیقاتی سهرین - قره چریان

جمله نکاتی بودند که در انتخاب این ایستگاه مد نظر قرار گرفتند.

#### روش تحقیق

در خصوص روش کار و دستیابی به هدف نهایی تحقیق، انجام مراحل مختلفی به ترتیب مورد توجه واقع شدند. برای احداث پلات‌های آزمایشی نیز، دو تیمار شخم در جهت و عمود بر جهت شیب در سه طبقه شیب ۰-۱۲، ۲۰-۱۲ و ۴۰-۲۰ درصد انتخاب و در هر طبقه شیب، شش کرت با ابعاد

در خصوص انتخاب این ایستگاه تحقیقاتی، عواملی چون وجود عرصه بلامنازع برای احداث و ایجاد کرت‌های آزمایشی، وجود کرت‌های رواناب و رسوب در شیب‌های مختلف از اراضی، رعایت اصول صحیح برای جمع‌آوری رواناب و اندازه‌گیری تلفات خاک بعد از هر واقعه بارش، ثبت اطلاعات مقدار و شدت رگبارها، دسترسی به جاده اصلی، امنیت محلی برای نگهداری از کرت‌ها و تجهیزات مربوطه در طول دوره اجرای طرح و عدم ورود احشام و تخریب آنها از

۹- برآورد مقدار متوسط سالانه شاخص فرساینده گی باران در ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به باران‌نگار در سطح استان

۱۰- انتقال محل ایستگاه‌ها به موقعیت جغرافیایی دقیق آنها در سطح استان و مشخص کردن مقدار متوسط شاخص فرساینده گی منتخب در جدول توصیفی آنها در محیط GIS

۱۱- استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی (بالغ بر ۱۳ روش در نرم‌افزار GIS ARC) برای تعمیم اطلاعات نقطه‌ای به ناحیه‌ای

۱۲- تعیین بهترین و مناسب‌ترین روش درون‌یابی با استفاده از بررسی پنج روش مختلف مشتمل بر روش‌های تکنیک ارزیابی متقابل (Cross Validation)، میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی ( $R^2$ )

۱۳- انتخاب بهترین روش درون‌یابی مبتنی بر حالتی که کم‌ترین خطا و بالاترین اطمینان در آن وجود داشته بوده و ترسیم نقشه هم‌فرسای باران در سطح منطقه مورد نظر

۱۴- زون‌بندی نقشه هم‌فرسای باران بر مبنای مناطق با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم نسبت به فرسایش قطره بارانی

۱۵- تهیه برنامه زمانی و مکانی مبارزه با فرسایش خاک، بر اساس کلاس خطر فرسایش قطره بارانی

### تعیین مقادیر رواناب و رسوب

#### متاثر از هر واقعه رگبار

برای تعیین مقادیر رواناب و رسوب، بعد از هر واقعه رگبار با مشخص بودن قطر مخازن مورد

استاندارد ۲۲/۱ متر در ۱/۸ متر احداث شد. برای جمع‌آوری رواناب و رسوب هر یک از کرت‌ها، دو مخزن متصل بهم در پایین‌دست هر یک از کرت‌ها تعبیه شد که از راه لوله نازل رواناب و رسوب تولیدی را جمع‌آوری می‌کردند. البته باید گفت که در این تحقیق هدف تهیه نقشه فرساینده گی باران نبوده و فقط روال منطقی و مراحل تولید این نقشه تشریح شده است، در واقع ورودی ضروری برای تولید این نقشه با صحت بالا، انتخاب بهترین شاخص فرساینده گی باران بوده که در ادامه به طور کامل تشریح شده است. در ذیل از بند ۱ تا ۸ مراحل انتخاب و شناسایی بهترین شاخص فرساینده گی باران بیان شده و از بند ۹ تا ۱۵ مراحل تولید نقشه دقیق هم‌فرسای باران در محیط GIS برای رسیدن به الگوی مدیریت فرسایش خاک، برای الویت‌گذاری برنامه‌های نگهداری خاک ارائه شده است. این مراحل عبارت بودند از:

۱- تعیین مقادیر رواناب و رسوب متأثر از هر واقعه رگبار

۲- طبقه‌بندی شاخص‌های فرساینده گی باران

۳- معرفی شاخص‌های جدید فرساینده گی باران

۴- تشریح چگونگی محاسبه و برآورد هر یک از شاخص‌های فرساینده گی باران

۵- ثبت اطلاعات مربوط به مقدار، شدت و مدت رگبارها

۶- آنالیز و تجزیه و تحلیل رگبارها برای استخراج پارامترهای مورد نیاز

۷- تعیین شاخص‌های فرساینده گی باران اشاره شده

۸- آنالیزهای آماری و بررسی روابط همبستگی میان تلفات خاک و شاخص‌های فرساینده گی باران برای معرفی بهترین شاخص فرساینده گی باران

وزن رسوبات ریزدانه اندازه‌گیری شده اضافه شد و به عنوان مقادیر تلفات خاک در نظر گرفته شدند (جدول ۱). نمونه‌ای از نتایج اندازه‌گیری رواناب و رسوب وقایع بارندگی‌های پایش شده در شیب ۳۲٪ (مربوط به طبقه شیب ۲۰٪ - ۴۰٪) را نشان می‌دهد.

### طبقه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌گی باران

به طور کلی شاخص‌های فرساینده‌گی باران را می‌توان در قالب دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی تقسیم‌بندی کرد. اما اگر به این مسأله با رویکردی دقیق‌تر نگاه کرد، در پاره‌ای از موارد مشاهده می‌شود که شاخص‌هایی وجود دارند که از هر دو عامل شدت بارش و مقدار بارش بهره‌مند بوده‌اند. بنابراین در ادامه و بر اساس نکته گفته شده تقسیم‌بندی زیر با در نظر گرفتن جزئیات بیش‌تر، ارائه شده است. لازم به توجه است که این تقسیم‌بندی در هیچ منبعی به این شکل ارائه نشده و فقط نتیجه مطالعه‌های همه جانبه و متکی بر مرور منابع گسترده این تحقیق می‌باشد.

در طبقه‌بندی شاخص‌های فرساینده‌گی باران گروه‌های زیر قابل تفکیک و ارائه هستند، این گروه‌ها عبارتند از:

- شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی
- شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی رگبار
- شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی و انرژی جنبشی باران
- شاخص‌های مبتنی بر مقدار بارندگی
- شاخص‌های مبتنی بر مقدار و شدت بارندگی
- شاخص‌های مبتنی بر شدت و مدت بارندگی

استفاده، پس از قرائت ارتفاع رواناب جمع شده، حجم رواناب با توجه به رابطه ریاضی حجم استوانه تعیین شد. برای جدا کردن رسوبات درشت‌دانه از ریزدانه و اندازه‌گیری مقدار آن به صورت جداگانه که موجب افزایش دقت در تعیین مقدار رسوبات ریزدانه در زمان بهم زدن و برداشت نمونه می‌شود، مخازن کوچک‌تری در داخل مخازن اصلی قرار داده شد، به طوری که با این کار امکان توزین دقیق رسوبات درشت‌دانه و تفکیک آن‌ها از رسوبات ریزدانه که در مخلوط رواناب به حالت تعلیق وجود داشتند، امکان‌پذیر شد. برای نمونه‌گیری از مخلوط رواناب و رسوب و تعیین غلظت رسوبات، از دستگاه نمونه‌بردار استوانه‌ای ساخت مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور استفاده شد. این دستگاه این امکان را فراهم می‌ساخت تا پس از هم‌زدن مخلوط رواناب و رسوب، در زمان نمونه‌گیری، پوشش کاملی برای نمونه‌برداری از تمام نواحی ارتفاعی مخزن فراهم آید. بعد از هر بارش، نمونه‌گیری‌ها در سه نوبت از مرکز مخزن و نیز بخش‌های کناری جداره مخازن انجام شد، در مرحله‌ی بعد برای تعیین مقدار تلفات خاک، نمونه‌ها به داخل ظروف پلاستیکی تخلیه شده و به آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات کشاورزی زنجان منتقل شدند. وزن نمونه‌ها در ابتدا تعیین شده و سپس تا خشک شدن کامل، در داخل آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، بعد از خشک شدن کامل، هر یک از نمونه‌ها دوباره توزین شدند. اختلاف دو قرائت به عنوان غلظت وزن رسوب در نظر گرفته شد. با توجه به مشخص بودن حجم رواناب هر واقعه بارش و نیز غلظت هر نمونه، وزن رسوبات معلق اندازه‌گیری شد و سرانجام وزن رسوبات درشت‌دانه که در داخل مخازن کوچک‌تر به تله افتاده بودند بعد از خشک کردن و توزین آن‌ها، به

- شاخص‌های مبتنی بر قطر و سرعت سقوط قطرات

### شاخص‌های جدید فرساینده‌گی باران

شاخص‌های فرساینده‌گی گروه اول مشتمل بر شاخص‌هایی هستند که بر پایه بیش‌ترین شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف  $(I_{\max 5}, I_{\max 10}, I_{\max 15}, I_{\max 30}, I_{\max 60}, I_{\max 120})$  و یا شدت متوسط رگبار به توان رسیده، مانند مواردی چون شاخص Roose یا  $I^{1.5}$  و شاخص Nearing یا  $I^2$  تعریف شده‌اند، واحد این شاخص‌ها میلی‌متر بر ساعت می‌باشد. شاخص‌های گروه دوم، خود دو دسته بوده، دسته اول شاخص‌هایی هستند که به طور مستقیم و فقط بر اساس استفاده از مقادیر انرژی جنبشی یا  $KE$  تعریف شده‌اند و دسته دوم علاوه بر استفاده از مقادیر انرژی جنبشی، با اعمال مقادیر حدی شدت رگبارها، شاخص‌های جدیدی را مطرح کرده‌اند. در این تحقیق از شاخص‌های گروه اول مقدار انرژی جنبشی بر اساس روش‌های ارائه شده (Palmer و Marshal)، (Torri و Zanchi)، (Smith و Wischmeier)، (Kinnell)، (Yoshinaga و Shirai، Onaga)، (Brandt)، (Tomas و Cutinho)، (Cerro et al.)، (Rezaur و Jayawardena)، (Alizadeh)، (ردیف‌های ۹ تا ۱۸ شاخص‌های فرساینده‌گی) تعیین شدند. از دسته دوم این گروه نیز، شاخص‌هایی مانند شاخص فرساینده‌گی Hudson ( $KE > 25$ ) و نیز شاخص Morgan ( $KE > 10$ ) انتخاب و استفاده شدند. واحد این گروه از شاخص‌ها برابر ژول بر مترمربع می‌باشد. برای اندازه‌گیری شاخص‌های فرساینده‌گی گروه سوم که مبتنی بر استفاده توأم شدت بارنده‌گی و انرژی جنبشی باران می‌باشند، از حاصل ضرب مقدار انرژی

جنبشی هر رگبار در شدت بیش‌ترین رگبار در پایه‌های زمانی مختلف استفاده شد، شاخص‌های  $EI_5, EI_{10}, EI_{15}, EI_{30}, EI_{60}, EI_{120}$  در این گروه قرار دارند، واحد شاخص‌های این گروه نیز معادل ژول میلی‌متر بر مترمربع بر ساعت می‌باشد. برای شاخص‌های فرساینده‌گی گروه چهارم، که مبتنی بر مقدار بارنده‌گی هستند، فقط شاخص مقدار ارتفاع بارش ( $A$ ) انتخاب و تعیین شد. دلیل عدم استفاده از شاخص‌های Arnoldos، Fournier و شاخص  $P_{6\max}$ ، ضرورت وجود آمار بلند مدت بارش بوده، که با توجه به دوره‌ی آماربرداری موجود، در عمل امکان استفاده از آنها میسر نشد. شاخص‌های فرساینده‌گی گروه پنجم، شاخص‌هایی هستند که بر پایه دو عامل مقدار و شدت بارنده‌گی تعریف و توصیه شده‌اند.

در این تحقیق از این گروه، شاخص‌های  $AI_m$  یا همان شاخص  $Lal$ ، برابر با حاصل ضرب مقدار ارتفاع هر باران بر حسب میلی‌متر در بیش‌ترین شدت بارنده‌گی  $7/5$  دقیقه‌ای بارنده‌گی مربوطه ( $I_m$ ) بر حسب میلی‌متر در ساعت، شاخص  $P_{20}$  که برابر با مقدار بارش اتفاق افتاده بجای بیش‌ترین شدت  $20$  دقیقه‌ای رگبار، شاخص‌های فرساینده‌گی  $R_{20}, R_{30}$  و  $R_{10}$  یا همان شاخص‌های Stanescu (تیپ اول، دوم و سوم) که برابر با حاصل ضرب بیش‌ترین شدت‌های بارش  $30, 20$  و  $10$  دقیقه‌ای در مجموع حاصل ضرب مقدار بارش‌های جزئی در شدت‌های متناظر مربوطه می‌باشد. استفاده شد. از شاخص‌های گروه ششم که مبتنی بر استفاده از شدت و مدت بارنده‌گی هستند، شاخص Onchev ( $R' = \frac{P}{\sqrt{t}}$ )، در این شاخص  $P$  مقدار بارش بیش‌تر از  $9/5$  میلی‌متر و با شدت بیش‌تر از  $0/18$  میلی‌متر در دقیقه بوده و

باران‌نگار سیفونی Australian Rain Gauge مدل TB3 مجهز به ثبت دیجیتالی یا (Data Logger) استفاده شد. این دستگاه به گونه‌ای تنظیم شد که بازاء هر ۰/۵ میلی‌متر بارش یک مورد ثبت را در حافظه خود به همراه داشته باشد، بدین ترتیب به طور مثال، ۳۰ مورد ثبت ارتفاع بارش معادل ۱۵ میلی‌متر بارش بوده است. در این ایستگاه تحقیقاتی عملاً از میان ۲۴ واقع رگبار، ۱۴ واقعه رگبار در فاصله زمانی سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ انتخاب شدند، علت این مسأله آن بود که از ۲۴ واقعه بارش منجر به رواناب، ۱۹ واقعه با ثبت اطلاعات بارندگی همراه شد، در بین ۱۹ واقعه ذکر شده، ۵ واقعه در روزهای متوالی و یا با فاصله کم‌تر از ۵ روز حادث شده بودند که برای حذف اثر رطوبت قبلی خاک، این وقایع مد نظر قرار نگرفتند.

### آنالیز و تجزیه و تحلیل رگبارها

#### برای استخراج پارامترهای مورد نیاز

برای تعیین شدت‌های بیش‌ترین بارش در پایه‌های زمانی مختلف، اطلاع داشتن از مقادیر ارتفاع بارش در هر دقیقه از رگبار یکی از ضروریات این امر می‌باشد، اطلاعات باران‌نگارها به علت ثبت تراکمی مقادیر بارش، به تنهایی قادر به پاسخ نیازهای این بخش نمی‌باشند، بنابراین در این بخش از مطالعه‌ها با استفاده از Visual Basic در محیط نرم‌افزار Excel، برنامه‌ای تهیه شد تا با انجام عمل درون‌یابی (Interpolation)، این امکان را فراهم سازد تا مقدار بارش در برابر هر دقیقه از زمان تعیین شود. این برنامه به گونه‌ای طراحی شد تا پس از اجرا اطلاعاتی از بارش مانند تاریخ شروع، زمان شروع، زمان خاتمه، مدت بارش، مقدار بارش و نیز جدول مقادیر جزئی زمان - بارش را مشخص سازد. همچنین با استفاده از

$t$  مدت زمانی است که بارش با این شرایط و محدودیت‌ها باریده است، مورد بررسی قرار گرفت (Georgiev & onchev, 1994) که در رگبارهای اتفاق افتاده، هیچ یک دارای این شرط واقع نشدند. از شاخص‌های گروه هفتم نیز، شاخص‌های فرسایندگی Epema و Riezebosa و تیپ اول و دوم ( $\frac{KE}{d}$  و  $\frac{KE}{d^2}$ ) انتخاب شدند. در این دو شاخص  $KE$  انرژی جنبشی کل رگبار و  $d$  نیز قطر میانه ذرات یا  $D_{50}$  می‌باشد. برای تعیین قطر میانه ذرات به علت دشواری‌های خاص انجام آن در روش‌های گلوله آردی و نیز کاغذهای جاذب‌الرطوبه، از روش تجربی ارائه شده توسط Parsns و Laws که بر مبنای تعداد بالای نمونه‌های مشاهداتی ارائه شده بودند از رابطه  $D_{50} = 2.23I^{0.182}$  استفاده شد. در بخش آخر نیز تعداد ۱۱ شاخص دیگر بر اساس جمع‌بندی نتایج مرور منابع و احتمالات دیگر معرفی شده و عملکرد و کارایی آن‌ها در تناسب با میزان تلفات خاک بررسی شد. شاخص‌های  $KE > 1$ ،  $KE > 2.5$ ،  $KE > 5$ ،  $\sqrt{AT}$ ،  $AI_{30}$ ،  $AI_{30}^2$ ،  $A\sqrt{I_{30}}$ ،  $\sum_{i=1}^n KE^2$ ،  $KE.d$  و  $KE.d^2$  شاخص‌هایی بودند که مورد استفاده قرار گرفتند. در این شاخص‌ها  $KE$ ،  $A$ ،  $I_{30}$  و  $d$  به ترتیب مقادیر انرژی جنبشی بارش، مقدار بارش، بیش‌ترین شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای و قطر میانه ذرات به شمار می‌آیند.

### ثبت اطلاعات

#### مربوط به مقدار، شدت و مدت رگبارها

همگام با پایش مقادیر رواناب و رسوب کرت‌ها، اطلاعات شدت رگبارها با استفاده از یک دستگاه



قابلیت فرمول نویسی در محیط نرم افزار Excel، ترتیبی اتخاذ شد تا مقدار ماکزیمم شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف محاسبه و ارائه شد. این محاسبات در عمل ملاک بررسی‌های بعدی واقع شد.

### تعیین شاخص‌های فرساینده‌گی باران

در این بخش از تحقیق با توجه به ماهیت هر شاخص و عوامل مؤثر در برآورد آن، با استفاده از اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل هر یک از رگبارها، در نهایت ۴۵ شاخص فرساینده‌گی باران برای هر رگبار تعیین و برآورد شد. نمونه یکی از نتایج برآوردها، مربوط به رگبار مورخ ۸۲/۰۱/۲۷ در جدول ۲ آورده شده است.

### آنالیزهای آماری و بررسی روابط همبستگی میان تلفات خاک

#### و شاخص‌های فرساینده‌گی باران

آنچه که مسلم است در میان پارامترهای موجود، خسارت‌های خاک به عنوان یک متغیر وابسته بوده و شاخص‌های فرساینده‌گی (Rainfall Erosivity Indexes) به عنوان متغیرهای مستقلی هستند که یکی از آنها بالاترین همبستگی را با عامل وابسته نشان خواهد داد، بنابراین برای انتخاب بهترین شاخص فرساینده‌گی باران تعیین مقادیر ضرایب همبستگی بین مقدار شاخص فرساینده‌گی و مقدار نابودی خاک لازم است، این کار با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۲) مقادیر ضرایب همبستگی و سطح معنی‌داری هر یک تعیین شد. (جدول ۳) نتایج بدست آمده را برای همه شاخص‌های فرساینده‌گی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری مقادیر حجم رواناب و وزن رسوب در کرت‌های آزمایشی ایستگاه سهرین قره‌چریان زنجان (شیب ۴۰ - ۲۰ درصد)

ردیف	تاریخ رگبار	مقدار رگبار (میلی‌متر)	شماره کرت - رواناب (لیتر)						شماره کرت - وزن رسوب (گرم)					
			۱۳	۱۵	۱۷	۱۴	۱۶	۱۸	۱۳	۱۵	۱۷	۱۴	۱۶	۱۸
۱	۸۲/۰۱/۰۶	۱۵/۵۰	۲/۷۷	۳/۸۰	۲/۹۴	۱/۸۱	۰/۲۵	۰/۷۸	۱۲/۵۹	۱۷/۲۵	۱۲/۸۱	۱/۷۹	۱۲/۵۹	۴/۲۴
۲	۸۲/۰۱/۲۰	۴/۵۰	۱/۲۳	۱/۴۵	۱/۲۰	۰/۴۶	۰/۹۷	۰/۶۶	۰/۵۹	۱/۷۹	۰/۹۷	۰/۵۱	۰/۴۹	
۳	۸۲/۰۱/۲۷	۱۸/۵۰	۳/۴۰	۳/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۱۰	۰/۰۰	۱۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
۴	۸۲/۰۲/۰۶	۱۶/۰۰	۲۲/۸۰	۱/۱۳	۱۲/۰۰	۰/۲۹	۰/۳۴	۱/۳۱	۷۷/۶۵	۰/۶۶	۸/۴۹	۱/۹۳	۲/۱۱	
۵	۸۳/۰۱/۱۷	۶/۰۰	۱/۳۶	۱/۲۸	۰/۰۰	۱/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۰۰	
۶	۸۳/۰۱/۲۹	۵/۵۰	۱/۱۴	۱/۱۷	۰/۰۰	۰/۵۳	۱/۰۱	۰/۰۰	۲/۴۱	۰/۶۴	۰/۰۰	۰/۷۶	۰/۰۰	
۷	۸۳/۰۲/۰۴	۴/۰۰	۱/۱۰	۸/۵۰	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
۸	۸۳/۰۲/۱۲	۵/۵۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۶/۴۶	۰/۱	۰/۰۰	۱/۰۱	۰/۰۰	
۹	۸۳/۰۳/۰۳	۷/۰۰	۶/۰۰	۳۳/۶۰	۲۲/۷۰	۱/۰۳	۴/۷۰	۲/۶۸	۴۹/۲۰	۴۰/۶۰	۳۹۷/۲۳	۰/۱۷	۱/۰۲	
۱۰	۸۳/۰۳/۱۰	۱۱/۵۰	۵/۵۰	۴/۷۰	۲۲/۷۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۷/۴۰	۱۳۳/۶۰	۳۶۳/۳۷	۲/۷۵	۳۴/۲۰	
۱۱	۸۳/۰۳/۲۸	۱۴/۰۰	۴۳/۲۰	۴۳/۲۰	۸۶/۴۰	۲/۹۳	۳/۱۴۶	۰/۲۲	۳۰۰۹/۰۰	۱۲۹۲/۱۰	۷۲۴۸/۰۰	۲/۸۹	۰/۰۰	
۱۲	۸۳/۰۴/۲۰	۹/۰۰	۱۵/۴۰	۲۰/۵۰	۵۲/۶۰	۰/۷۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۶۰/۳۰	۱۸۴۴/۰۰	۱۵۳۵/۰۰	۱۴/۰۷	۰/۷۲	
۱۳	۸۴/۰۲/۱۶	۱۲/۰۰	۳۱/۲۰	۱/۹۸	۱/۶۰	۱/۱۰	۰/۸۷	۱/۸۰	۱۵/۴۲	۱/۱۳	۰/۸۳	۰/۲۸	۰/۸۷	
۱۴	۸۵/۰۸/۱۳	۱۴/۵۰	۴۲/۲۰	۳۵/۷۰	۴۲/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۸۰/۰۰	۵۰۴/۰۰	۴۵۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	

جدول ۲- نتایج محاسبات شاخص های فرساینده برای رگبار مورخ ۱۳۸۲/۰۱/۲۲ ایستگاه سهرین قره چریان

ردیف	نماد شاخص فرساینده	مقدار	واحد	ردیف	نماد شاخص فرساینده	مقدار	واحد	ردیف	نماد شاخص فرساینده	مقدار	واحد
۱	$I_{\max 5}$	۲۱	$mm.hr^{-1}$	۱۶	$KE_8$	۳۸۸/۸۱	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۳۱	$R_{20}$	۱۳۳۰/۴۶	$mm^3.hr^{-2}$
۲	$I_{\max 10}$	۱۸	$mm.hr^{-1}$	۱۷	$KE_9$	۲۲۵/۷۱	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۳۲	$R_{10}$	۱۸۲۲/۵۵	$mm^3.hr^{-2}$
۳	$I_{\max 15}$	۱۴/۷۴	$mm.hr^{-1}$	۱۸	$KE_{10}$	۲۶۸/۸۷	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۳۳	$\frac{KE}{d^2}$	۵۷/۶۸	$J.m^{-2}.mm^{-2}$
۴	$I_{\max 30}$	۱۰/۶۶	$mm.hr^{-1}$	۱۹	$KE > 25$	۲۵/۰۳	$J.m^{-2}$	۳۴	$\frac{KE}{d}$	۱۳۹/۲۶	$J.m^{-2}.mm^{-1}$
۵	$I_{\max 60}$	۶/۷۸	$mm.hr^{-1}$	۲۰	$KE > 10$	۱۸۰/۴۰	$J.m^{-2}$	۳۵	$KE > 1$	۲۷۷/۶۳	$J.m^{-2}$
۶	$I_{\max 120}$	۳/۶۵	$mm.hr^{-1}$	۲۱	$EI_5$	۶۲۷۵/۹۹	$J.m^{-2}.mm.hr^{-1}$	۳۶	$KE > 2.5$	۲۲۸/۸۲	$J.m^{-2}$
۷	$I^{1.5}$	۰/۷۳	$mm^{1.5}.hr^{-1.5}$	۲۲	$EI_{10}$	۵۳۷۹/۴۲	$J.m^{-2}.mm.hr^{-1}$	۳۷	$KE > 5$	۱۰۷/۸۴	$J.m^{-2}$
۸	$I^2$	۰/۶۶	$mm^2.hr^{-2}$	۲۳	$EI_{15}$	۴۴۰۵/۱۵	$J.m^{-2}.mm.hr^{-1}$	۳۸	$\sqrt{AT}$	۱۶۱/۵۱	$mm^{0.5}.hr^{0.5}$
۹	$KE_1$	۲۴۱/۶	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۲۴	$EI_{30}$	۳۱۸۵/۸۱	$J.m^{-2}.mm.hr^{-1}$	۳۹	$AI_{30}^2$	۲۱۰۲/۲۶	$mm^3.hr^{-2}$
۱۰	$KE_2$	۲۹۸/۸۶	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۲۵	$EI_{60}$	۲۰۲۶/۲۵	$J.m^{-2}.mm.hr^{-1}$	۴۰	$AI_{30}$	۱۹۷/۲۱	$mm^2.hr^{-1}$
۱۱	$KE_3$	۲۸۲/۸۰	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۲۶	$EI_{120}$	۱۰۹۰/۸۳	$J.m^{-2}.mm.hr^{-1}$	۴۱	$A\sqrt{I_{30}}$	۶۰/۴۰	$mm^{1.5}.hr^{-0.5}$
۱۲	$KE_4$	۱۵۵/۵۳	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۲۷	$A$	۱۸/۵۰	$mm$	۴۲	$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$	۸۹۳۱۵/۳۱	$J^2.m^{-4}$
۱۳	$KE_5$	۲۷۶/۸۲	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۲۸	$AI_m$	۳۵۵/۹۴	$mm^2.hr^{-1}$	۴۳	$KE.d$	۶۴۱/۳۸	$J.m^{-2}.mm$
۱۴	$KE_6$	۲۴۴/۲۱	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۲۹	$P_{20}$	۴/۳۸	$mm$	۴۴	$KE.d^2$	۱۳۷۶/۴۵	$J.m^{-2}.mm^2$
۱۵	$KE_7$	۳۵۸/۲۰	$J.m^{-2}.mm^{-1}$	۳۰	$R_{30}$	۱۰۷۹/۳۶	$mm^3.hr^{-2}$	۴۵	$KE.\sqrt{d}$	۴۳۷/۸۱	$J.m^{-2}.mm^{0.5}$

جدول ۳- نتایج بررسی تعیین ضرایب همبستگی میان تلفات خاک و شاخص‌های مختلف فرساینده گی باران در ایستگاه تحقیقات پخش سیلاب سهرین قره‌چریان زنجان

ردیف	شاخص فرساینده گی	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (%)	ردیف	شاخص فرساینده گی	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری (%)
۱	$I_{\max 5}$	۰/۵۹۵	۰/۰۱۰	۲۴	$EI_{30}$	۰/۴۶۲	۰/۰۱۳
۲	$I_{\max 10}$	۰/۵۲۹	۰/۰۴۰	۲۵	$EI_{60}$	۰/۶۰۱	۰/۰۰۱
۳	$I_{\max 15}$	۰/۵۰۰	۰/۰۷۰	۲۶	$EI_{120}$	۰/۸۱۸	۰/۰۰۰
۴	$I_{\max 30}$	۰/۴۵۷	۰/۰۱۴	۲۷	$A$	۰/۲۴۱	۰/۲۱۷
۵	$I_{\max 60}$	۰/۶۰۸	۰/۰۱۰	۲۸	$AI_m$	۰/۵۷۵	۰/۰۰۱
۶	$I_{\max 120}$	۰/۶۰۸	۰/۰۱۰	۲۹	$P_{20}$	۰/۴۷۹	۰/۰۱۰
۷	$I^{1.5}$	۰/۸۹۳	۰/۰۰۰	۳۰	$R_{30}$	۰/۵۲۷	۰/۰۰۴
۸	$I^2$	۰/۹۰۶	۰/۰۰۰	۳۱	$R_{20}$	۰/۵۲۶	۰/۰۰۴
۹	$KE_1$	۰/۴۱۵	۰/۰۲۸	۳۲	$R_{10}$	۰/۵۴۴	۰/۰۰۴
۱۰	$KE_2$	۰/۴۳۰	۰/۰۲۲	۳۳	$\frac{KE}{d^2}$	۰/۰۱۴	۰/۹۴۴
۱۱	$KE_3$	۰/۴۶۶	۰/۰۱۲	۳۴	$\frac{KE}{d}$	۰/۱۹۹	۰/۳۰۹
۱۲	$KE_4$	۰/۵۵۲	۰/۰۰۲	۳۵	$KE > 1$	۰/۴۶۱	۰/۰۱۳
۱۳	$KE_5$	۰/۴۶۱	۰/۰۱۴	۳۶	$KE > 2.5$	۰/۴۹۲	۰/۰۰۸
۱۴	$KE_6$	۰/۴۵۳	۰/۰۱۶	۳۷	$KE > 5$	۰/۶۰۰	۰/۰۰۱
۱۵	$KE_7$	۰/۴۰۳	۰/۰۳۳	۳۸	$\sqrt{AT}$	۰/۳۲۷	۰/۰۸۹
۱۶	$KE_8$	۰/۳۸۸	۰/۰۴۱	۳۹	$AI_{30}^2$	۰/۳۵۴	۰/۰۶۵
۱۷	$KE_9$	۰/۳۴۱	۰/۰۷۶	۴۰	$AI_{30}$	۰/۳۷۷	۰/۰۴۸
۱۸	$KE_{10}$	۰/۴۴۴	۰/۰۱۸	۴۱	$A\sqrt{I_{30}}$	۰/۳۵۱	۰/۰۶۷
۱۹	$KE > 25$	-	-	۴۲	$\sum_{i=1}^{i=n} KE^2$	۰/۴۵۳	۰/۰۱۵
۲۰	$KE > 10$	۰/۱۵۷	۰/۰۸۲	۴۳	$KE.d$	۰/۶۳۶	۰/۰۰۰
۲۱	$EI_5$	۰/۵۸۰	۰/۰۰۱	۴۴	$KE.d^2$	۰/۷۷۱	۰/۰۰۰
۲۲	$EI_{10}$	۰/۵۱۸	۰/۰۰۵	۴۵	$KE.\sqrt{d}$	۰/۵۴۰	۰/۰۰۳
۲۳	$EI_{15}$	۰/۴۹۳	۰/۰۰۸				

### بحث و نتیجه گیری

بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در میان ۴۵ شاخص فرساینده‌گی مورد مطالعه، شاخص فرساینده‌گی  $I^2$  (Nearing Index) یا به عبارتی مقدار شدت متوسط رگبار به توان دو، با ضریب همبستگی  $0.906$  و سطح احتمال معنی‌داری  $100$  درصد در میان سایر شاخص‌ها از بالاترین مقدار همبستگی برخوردار است و می‌توان آن را به عنوان بهترین شاخص فرساینده‌گی برای این منطقه در نظر گرفت و در واقع این بدان مفهوم است که در این منطقه و ناحیه جغرافیایی، کارایی شاخصی از جنس شدت بارش به مراتب بالاتر از کارایی سایر شاخص‌های فرساینده‌گی باران است. نتیجه این تحقیق با تحقیقاتی که نیک‌کامی و همکاران (۱۳۸۴) در همین ایستگاه انجام داده بودند، بیانگر این مسأله است که آنان شاخص  $I^{1.5}$  یا همان شاخص *Roose* را به عنوان بهترین شاخص معرفی کرده بودند. مقایسه این دو نتیجه نشان می‌دهد که میزان قرابت بالایی بین آن‌ها وجود داشته و تفاوت بسیار ناچیزی در بین این دو شاخص وجود دارد، اختلاف تعداد داده‌های مشاهداتی که متأثر از اختلاف در طول دوره آماربرداری بوده است، خود می‌تواند یکی از دلایل بروز این مسأله باشد. بروز چنین نتیجه‌ای و انتخاب شاخص  $I^2$  نشان می‌دهد که مقادیر تلفات خاک ارتباط معنی‌دارتری با تغییرات شدت متوسط رگبارهای این ناحیه داشته است. از سوی دیگر همبستگی شاخص‌های مبتنی بر استفاده منفرد از مقدار انرژی جنبشی به مراتب کم‌تر بوده، برای نمونه بیش‌ترین و کم‌ترین ضریب همبستگی در این بخش به هنگام استفاده از انرژی جنبشی به تنهایی، معادل  $0.55$  و  $0.34$  بوده است، با دخالت مقدار شدت بیش‌تری در پایه‌های زمانی

مختلف، مقادیر ضرایب همبستگی از افزایش نسبی برخوردار شدند که این مسأله نشان دهنده کارکرد بهتر این تیپ شاخص‌ها نسبت به شاخص‌های منفرد انرژی جنبشی می‌باشد. بررسی مقادیر انرژی جنبشی رگبارها با تأکید بر جداسازی بخش فرساینده و غیرفرساینده رگبارها در این منطقه نشان داد که در میان شاخص‌های  $KE > 2.5$ ،  $KE > 5$  و  $KE > 7$ ، بالاترین میزان همبستگی مربوط به حد آستانه شدت  $5$  میلی‌متر در ساعت است که با ضریب همبستگی  $0.60$  و سطح معنی‌داری  $99$  درصد بالاترین همبستگی را به خود اختصاص داده است. بروز چنین مسأله‌ای در این منطقه، می‌تواند بیش‌تر تحت تأثیر نوع الگوی بارش‌های آن باشد، این بدان مفهوم است که بخش فرساینده رگبارهای این ناحیه بیش‌تر بخشی است که در آن دوره رگبار با شدت بیش‌تر از  $5$  میلی‌متر در ساعت باریده است. بررسی‌های انجام شده بر روی  $70$  طرح تحقیقاتی در همین خصوص در سطح دنیا نشان داد که در حدود  $56$  درصد از محققین با قبول این که شاخص فرساینده‌گی  $EI_{30}$  یا  $R$  (Smith و Wischmeier) بهترین تخمین‌گر فرساینده‌گی باران می‌باشد، به معرفی روش‌های ساده‌تری برای اندازه‌گیری شاخص  $EI_{30}$  پرداخته‌اند. در واقع حساسیت خاصی از سوی این محققین برای این که آیا  $EI_{30}$  بهترین شاخص فرساینده‌گی باران بوده و یا خیر، مطرح نبوده و در عمل آنان این شاخص را بدون کنترل‌های بعدی پذیرفته‌اند و بیش‌تر تلاش خود را معطوف به ارائه راه‌کارهای ساده اندازه‌گیری آن از روی شاخص *Fournieh*، بیش‌ترین بارش  $24$  ساعته و یا بارش متوسط ماهانه و یا سالانه کرده‌اند. در نقطه مقابل، گروه دوم محققین و افرادی هستند که معتقدند شاخص‌های فرساینده‌گی دیگری وجود دارد که

می‌باشد، برای این کار بعد از انجام اندازه‌گیری‌های مربوطه با یک شیوه مناسب از تکنیک‌های درون‌یابی (Interpolation) مقادیر شاخص فرساینده‌گی منتخب برای کل محدوده استان تعمیم داده می‌شود، تا بر اساس آن بتوان با کلاسه‌بندی کردن مقادیر فرساینده‌گی در محیط رستری، نسبت به تهیه و ترسیم نقشه شدت فرساینده‌گی باران، اقدام لازم را انجام داد. اراضی کشاورزی که در زون‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد از فرسایش قطره بارانی واقع شده‌اند، در واقع جزء مناطقی از عرصه‌های تولیدی هستند که باید در الویت برنامه‌های حفاظت خاک قرار گیرند. برخی از کشاورزان برای استفاده راحت از ادوات کشاورزی، اراضی خود را در جهت شیب شخم زده و توجهی به از بین رفتن حاصل‌خیزی خاک ندارند، حال اگر این رفتار در اراضی شیب‌داری که در زون‌های با حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت به فرسایش پاشمانی واقع شده‌اند، روی دهد، بالاترین حالت فرسایش تشدید می‌شود. مدیریت صحیح فرسایش خاک اقتضاء می‌کند که در چنین مواردی، به جای جلوگیری از ادامه کار کشاورزان در این گونه اراضی چاره مناسبی برای بهبود نوع کاشت در اراضی شیب‌دار اندیشه شود، برخورد قانونی تنها راه مبارزه با کشاورزان متخلف نیست بلکه با انجام سیاست‌های تشویقی برای کاشت با شخم‌های صحیح و در خلاف جهت شیب غالب زمین، می‌توان روند استفاده از زمین توسط زارعین را در شکل درست خود هدایت و مدیریت کرد. برای نمونه یکی از راه‌های اصلاح اراضی شیب‌دار ایجاد باغ و کشت درختان مثمر و غیرمثمر می‌باشد، که در هر دو مورد نگهداری خاک به بهترین شکل انجام شده و از سوی دیگر در مورد اولی با تولید محصولات باغی

همبستگی آماری آن‌ها با تلفات خاک بیش‌تر از شاخص  $EI_{30}$  می‌باشد، این گروه که در حدود ۱۷ درصد از آمار موجود را تشکیل می‌دهند با توسعه تحقیقات در زمینه مطالعات فرسایش خاک و احداث کرت‌های رواناب و رسوب، با تأکید بر کنترل کارآیی شاخص  $EI_{30}$  به ضرورت بررسی صحت و سقم آن تأکید فراوانی داشته‌اند و در بیش‌تر موارد پافشاری آن‌ها موجب شناسایی و معرفی شاخص‌های جدیدی شده است، در واقع موضوع تحقیق حاضر نیز در این دسته جای گرفته و صحت ادعای محققین این گروه را اثبات می‌کند، زیرا نتایج بدست آمده مبتنی بر مشاهدات مستقیم و نتایج حاصل از کرت‌های صحرایی رواناب و رسوب بوده است. گروه سوم محققینی هستند که در زمینه‌های عمومی مرتبط با موضوع مورد بحث، مانند ماهیت پاشمان، مکانیسم و چگونگی آن، بررسی قطر قطرات بارش، سرعت سقوط ذرات بارش و یا مواردی چون، انرژی جنبشی باران به تحقیق و ارائه روابط مختلف پرداخته‌اند، سهم این دسته چیزی در حدود ۲۷ درصد از مقالاتی است که توسط نگارندگان مورد توجه قرار گرفته‌اند، بنابراین واضح است که سهم تحقیقات در زمینه کاری گروه دوم کم‌تر بوده و ضروری بوده که گام‌های موثری برای پاسخ به آن برداشته شود. این تحقیق نیز بر همین اساس طرح‌ریزی شد. بنابراین برای مدیریت فرسایش در سطح مزارع، زمین‌های کشاورزی و نیز در سطح حوزه‌های آبخیز و تعیین الویت‌های مبارزه با فرسایش آبی، ضروری است تا در بستر  $GIS$  ابتدا محل ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی و باران‌سنجی وزارت نیرو (مجهز به باران‌نگار) مکان‌یابی شوند. گام بعدی برآورد متوسط بلندمدت (به طور مثال یک دوره ۲۵ ساله یا ۲۰ ساله) شاخص  $I^2$  در محل هر ایستگاه

و در مورد دومی از راه فروش چوب امکان اشتغال‌زایی و افزایش درآمد نیز ممکن می‌باشد.

### پیشنهادها

بر اساس نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود تا در عرصه مدیریت آبخیزها و اجرای پروژه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری، انجام برخی از پروژه‌های عمرانی و نیز انجام طرح‌های تحقیقاتی مرتبط با این موضوع توسط افرادی که علاقمند به دنبال کردن این مطالعه‌ها در سایر نقاط کشور هستند، موارد زیر مد نظر قرار داده شود:

۱- استفاده از نقشه هم‌فرسایندگی باران برای مدیریت فرسایش حوزه‌های آبخیز با استفاده از نقشه هم‌فرسایی که بر پایه بهترین و موثرترین شاخص فرسایندگی باران تولید شده است.

۲- در جاهایی که هر ساله زمین شخم می‌شود باید محصولات جایگزین و درختان متناسب با هر منطقه که نیاز به شخم و دخل و تصرف هر ساله نیست کاشته شود.

۳- در اراضی زراعی با مشارکت مردم کاربری‌های متناسب منطبق با مطالعه‌های آمایش سرزمین تعریف شده و در مراتع و جنگل‌ها پوشش گیاهی تقویت شده، هم‌چنین کنترل تعداد دام در مراتع و

### منابع

حسینی، س.ص.، و م.قربانی. ۱۳۸۴. اقتصاد فرسایش خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۴۳۹

حکیم‌خانی، ش.، م.مهدیان، م.عرب‌خدیری، و د.قربان‌پور. ۱۳۸۴. بررسی فرسایندگی باران در سطح کشور، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، ۶ الی ۹ شهریور ماه ۱۳۸۴، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

شاهویی، ص.، و ح.رفاهی. ۱۳۷۴. استفاده از جداول شدت مدت و دوره برگشت برای محاسبه شاخص فرسایندگی باران و مقایسه آن با سایر روش‌های موجود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

جنگل‌ها می‌تواند نقش مؤثری در کاهش فرسایش و کنترل روند صعودی فرسایش خاک داشته باشد.

۴- تعیین زمان مناسب برای اجرای عملیات بیولوژیکی حفاظت خاک

۵- مکان‌یابی صحیح و انتخاب بهترین دوره زمانی برای اجرای پروژه‌های عمرانی، با توجه به ضرورت عدم انطباق زمانی عملیات عمرانی با دوره‌هایی که شدت فرسایش قطره بارانی در آن‌ها بیش‌تر است.

۶- مطالعه و تعیین بهترین شاخص فرسایندگی باران در محدوده‌های اقلیمی مشابه در سطح هر استان

۷- افزایش طول دوره‌ی آماربرداری از وقایع بارش، رواناب و رسوب متناظر آن‌ها

۸- افزایش تعداد کرت‌ها و تنوع دادن به کاربری‌های مختلف و استفاده از کلاس‌های مختلف شیب اراضی

۹- کنترل ادواری دستگاه ثبت دیجیتالی بارش در محل ایستگاه‌های تحقیقاتی و امکان استفاده از دستگاه پیشرفته Disdrometer (پایشگر لیزری بارندگی) برای تعیین سرعت حد بارش و قطر میانه ذرات بارش و در نتیجه امکان تعیین و محاسبه دقیق‌تر شاخص‌هایی که وابسته به سرعت بارش و قطر میانه ذرات بارش هستند.

نیک کامی، د.، پ. رزمجو، و ع. جعفری اردکانی. ۱۳۸۴. بررسی شاخص فرساینده گی باران در اراضی دیم، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، ۶ الی ۹ شهریور، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

هادسون، ن. ۱۳۷۲. حفاظت خاک، ترجمه حسین قدیری، انتشارات دانشگاه شهید چمران

**Angima, S.D., D.E. Stott, M.K.O Neill, C.K. Ong, and G.A. Weesies.** 2003. Soil erosion predicting using RUSLE for central Kenyan highland conditions, *Agriculture, Ecosystems and environment* 97 (2003) P 295-308.

**D'Odorich, Paolo, Yoo, Jae Chan.** 2001. An assessment of ENSO-induced patterns of rainfall erosivity in the southwestern United States, *Journal of Climate*. Boston: Nov 1, 2001, Vol.14, Iss. 21; pg. 4230, 13 pgs.

**Hoyos, N., P.R. Waylen, Alvaro Jaramillo.** 2005. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes, *Journal of Hydrology* xx (2005) P 1-15.

**Hussein, Mohammad .H.,** 1998. Water erosion assessment and control in Northern Iraq, *Soil & Tillage Research* 45 (1998) P 161-173.

**Jayawardena, A.W., and R.B. Rezaur.** 2000. Drop size distribution and kinetic energy load of rainstorms in Hong Kong, *Hydrol. Process.* 14(2000), P. 1069 – 1082. \_Volume 4, Issue 1, March 1991, P 93-97.

**Lal, R.** 1998. Drop size distribution and energy load of rainstorms at Ibadan, western Nigeria, *Soil & Tillage Research* 48 (1998) 103±114.

**Lal, R., and W. Eliot.** 1994. Erodibility and erosivity, In Lal, R. (ed), *soil erosion research methods, soil and water conservatuin society*, Ankeny, 181-208.

**Mikhailova, E.A., R.B. Bryant, S.J. Schwager, and S.D. Smith.** 1997. Predicting rainfall erosivity in Honduras, 1997, Published in *soil sci. soc. Am. J.* 61, P 273 – 279.

**Nyssen, J., H. Vandenreyken, J. Poessen, J. Deckers, Mitiku Haile, C. Salles, and G. Govers.** 2004. Rainfall erosivity and variability in the Northern Ethiopian Highlands, *Journal of Hydrology* 311(2005)P 172-187.

**Obi, M.E., and F.K. Salako.** 1995. Rainfall parameters influencing erosivity in southeastern Nigeria, *Catena*, Volume 24, issues 4, October 1995, P 275-287.

**Ogedengbe, K., and Ao. Akintola.** 2005. Development Of Rainfall Erosivity Map For Nigeria, *Global Journal of Pure and Applied Sciences* Vol.11(2) 2005: 253-256.

**Georgiev, N.** 1994. Universal index for calculating rainfall erosivity, p 424 – 431.



**Yu,B.** 1998. Rainfall erosivity and its estimation for Australias tropics, soil research journal no.36, p 143 – 165.

**Yu,B., and C.J.Rosewell.** 1996. A robust estimator of the R – factor for the universal soil loss equation, 1996 American society of agricultural engineers, vol 39 (2): p 559 561.

Archive of SID