



محاسبه و برآورد شاخص های Lal ، EI_3 ، هادسون و $Onchev$ در حوضه دریایچه نمک

زرین تاج علی پور^۱، محمدحسین مهدیان^۲، شاهرخ حکیم‌خانی^۳ و مصطفی سعیدی^۴

چکیده

در این تحقیق شاخص‌های Lal ، EI_3 ، هادسون و $Onchev$ برای ۱۶ ایستگاه ثبات بارندگی و سه ایستگاه نزدیک به حوضه دریایچه نمک با طول دوره‌ی آماری بین ۱۶ تا ۲۶ سال در حوضه دریایچه نمک محاسبه گردید. سپس خصوصیات سهل‌الوصول بارندگی نظیر شاخص فورنیه، شاخص فورنیه اصلاح شده، متوسط بارندگی سالانه و حداکثر بارش ماهانه به عنوان متغیر مستقل و شاخص‌های Lal ، EI_3 ، هادسون و $Onchev$ به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده و رابطه رگرسیونی برقرار گردید. بر اساس ضریب تعیین و اشتباه استاندارد مدل‌های رگرسیونی مختلف، چهار مدل برای برآورد شاخص‌های Lal ، EI_3 ، هادسون و $Onchev$ در ایستگاه‌های فاقد آمار شدت بارندگی انتخاب گردید و با استفاده از روابط رگرسیونی به‌دست آمده، شاخص‌های یاد شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی فاقد آمار، شدت بارندگی برآورد شد.

واژگان کلیدی: حوضه دریایچه نمک، شاخص EI_3 ، شاخص فرساینده‌ی باران، شاخص فورنیه اصلاح شده.

alipour@damghaniau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱۸

۱- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان (نگارنده‌ی مسئول)

۲- استادیار سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی

۳- استادیار دانشگاه ارومیه

۴- عضو پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

مقدمه

فرسایش آبی نه تنها سبب از بین رفتن خاک، به عنوان یک ثروت طبیعی می‌شود، بلکه مشکلات دیگری را نیز در پی دارد. پر شدن مخازن سدها، کانال‌ها، آلودگی آب و پدیده‌ی زیست محیطی اوتریفیکاسیون، تغییرات اکولوژیکی بخش کوچکی از مشکلات شناخته شده توسط بشر است. نظر به مشکلات یاد شده، لزوم بررسی جنبه‌های مختلف فرسایش آبی ضروری به نظر می‌رسد. در فرسایش آبی قدرت فرساینده‌ی باران از اهمیت زیادی برخوردار است. فرساینده‌ی باران، نیروی محرکه یا توان عوامل فرسایش‌زا (نظیر باران و رواناب ناشی از آن) در جداسازی و انتقال ذرات خاک است (۹). مفهوم عبارت فرساینده‌ی باران توسط ویشمایر و اسمیت در سال ۱۹۵۸ (۲۰) به منظور لحاظ تأثیر اقلیم بر فرسایش خام ارایه شد. فرساینده‌ی باران را می‌توان با استفاده از دو روش اندازه‌گیری مستقیم و استفاده از شاخص‌ها تعیین کرد (۹). روش اندازه‌گیری مستقیم، روشی مناسب برای تعیین قدرت فرساینده‌ی باران است که از طریق اندازه‌گیری میزان پاشمان صورت می‌گیرد. به دلیل این‌که اندازه‌گیری مستقیم قدرت فرساینده‌ی باران در سطح وسیع و برای تمام بارندگی‌ها کاری دشوار و زمان‌بر است، لذا محققین مختلف (۱۰، ۱۸ و ۲۰) با اندازه‌گیری همزمان میزان پاشمان یا تلفات خاک و خصوصیات بارندگی و برقراری روابطی بین آنها، به شاخص‌هایی مبتنی بر خصوصیات بارندگی دست یافته‌اند. با استفاده از این شاخص‌ها و بدون

نیاز به اندازه‌گیری مستقیم می‌توان قدرت فرساینده‌ی باران را برای مناطق مختلف تعیین نمود.

به‌طورکلی شاخص‌های فرساینده‌ی باران را می‌توان در قالب دو گروه شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول بارندگی تقسیم‌بندی کرد (۱). در گروه اول، به‌نحوی از شدت بارندگی یا انرژی جنبشی یا هر دوی آنها در ارایه‌ی شاخص فرساینده‌ی استفاده شده است. از معروف‌ترین شاخص‌های این گروه می‌توان به EI_3 (۲۰)، AI_m (۱۰)، $KE > 1$ و P/\sqrt{t} (۱۶) اشاره نمود. یکی از اشکالات شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی این است که به آمار طولانی مدت (بالاتر از ۲۰ سال) شدت بارندگی (با فواصل زمانی کوتاه مدت) ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به باران‌نگار نیاز دارند (۲۰). به دلیل این‌که چنین آماری در بیشتر نقاط دنیا به خصوص برای دوره‌های زمانی طولانی مدت وجود ندارد، از این رو، محققین با استفاده از آمار سهل‌الوصول بارندگی که به راحتی در ایستگاه‌های باران‌سنجی قابل تهیه هستند، توانسته‌اند شاخص‌های ساده‌تری ارایه کنند. این شاخص‌ها یا از طریق تحلیل منطقه‌ای تولید رسوب یا از طریق برقراری همبستگی و رابطه با شاخص EI_3 به‌دست آمده‌اند. از معروف‌ترین شاخص‌های این گروه نیز می‌توان به شاخص فورنیه و شاخص فورنیه اصلاح شده اشاره کرد. اودنگب و همکاران (۱۵) برای تهیه‌ی نقشه‌ی هم‌فرساینده‌ی باران کشور نیجریه و تعیین شاخص فرساینده‌ی باران مدل $USLE$ و $RUSLE$ از شاخص اصلاح شده

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی دریاچه نمک یا حوضه شور و جاجرود، یکی از حوضه‌های آبخیز داخلی ایران است. این حوضه در دامنه‌ی جنوبی رشته کوه‌های البرز مرکزی بین مختصات جغرافیایی $۸^{\circ} ۴۸'$ تا $۸^{\circ} ۵۲'$ طول شرقی و $۰۰^{\circ} ۳۳'$ تا $۳۰^{\circ} ۳۶'$ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع حداقل آن ۸۰۰ متر و ارتفاع حداکثر آن ۴۳۷۵ متر می‌باشد. مساحت کوهستان در این حوضه ۴۲۹۷۹ کیلومتر مربع و مساحت کل این حوضه ۹۲۵۵۳ کیلومتر مربع است. متوسط بارندگی سالانه‌ی این منطقه از حدود ۷۰۰ میلی‌متر در مناطق مرتفع غربی و شمالی تا کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در حاشیه کویری شرق و دریاچه نمک تنزل دارد. میانگین سالانه‌ی دمای هوا از کمتر از ۵ درجه‌ی سلسیوس در مناطق مرتفع کوهستانی تا بیش از $۱۷/۵$ درجه‌ی سلسیوس در اطراف دریاچه نمک متغیر است.

اقلیم غالب منطقه در سیستم دوماترین اصلاح شده، اقلیم خشک است که $۴۴/۸$ درصد مساحت حوضه را پوشانده است و شامل دو اقلیم فراهشک با مساحت $۱۴/۲$ درصد و اقلیم خشک بیابانی با مساحت $۳۰/۶$ درصد است. اقلیم نیمه خشک ۴۲ درصد، اقلیم مدیترانه‌ای $۷/۸$ درصد و اقلیم‌های نیمه مرطوب تا مرطوب در حدود $۵/۴$ درصد مساحت این حوضه را به خود اختصاص داده است (۴).

فورنیه استفاده کردند. سیلوا (۱۹) نقشه‌ی فرساینده‌ی باران را با استفاده از آمار ۱۶۰۰ ایستگاه هواشناسی دارای باران‌سنج برای کشور برزیل تهیه نمود. در تحقیق دیگری لورریو و کوتینهو (۱۱) از مقدار بارندگی ماهانه‌ی بیش از ده میلی‌متر و تعداد روزهای ماه با بارندگی بیش از ده میلی‌متر برای برآورد EI_3 ماهانه استفاده کرده‌اند. حداکثر بارندگی روزانه و مقدار بارندگی روزانه از دیگر خصوصیات بارندگی هستند که محققینی نظیر دیوداتو (۷)، برای برآورد EI_3 ماهانه از آن استفاده نموده است. در تحقیق حاضر برای تعیین شاخص فرساینده‌ی ماهانه و سالانه در ایستگاه‌های فاقد باران‌نگار از روابط رگرسیونی بین EI_3 و شاخص‌های فورنیه، میانگین بارش ماهانه و میانگین بارش سالانه استفاده شده است.

حوضه دریاچه نمک در قسمت مرکزی ایران واقع شده است و به دلیل شرایط اقلیمی خاص، از لحاظ پوشش گیاهی فقیر است و از پتانسیل فرسایش پذیری بالایی برخوردار است. آگاهی از مقادیر و توزیع فصلی و سالانه‌ی شاخص فرساینده‌ی باران به عنوان یکی از منابع مهم اطلاعاتی می‌تواند پتانسیل خطر فرسایش را در حوضه‌ی آبخیز دریاچه نمک تعیین نماید. هدف از این تحقیق، محاسبه‌ی شاخص‌های EI_3 ، Lal ، هادسون و $Onchev$ در ایستگاه‌های دارای آمار شدت بارندگی و برآورد این شاخص‌ها با استفاده از روابط رگرسیونی انتخابی در ایستگاه‌های فاقد آمار شدت بارندگی در حوضه دریاچه نمک است.

انتخاب ایستگاه‌های بارندگی ثبات و

باران سنجی

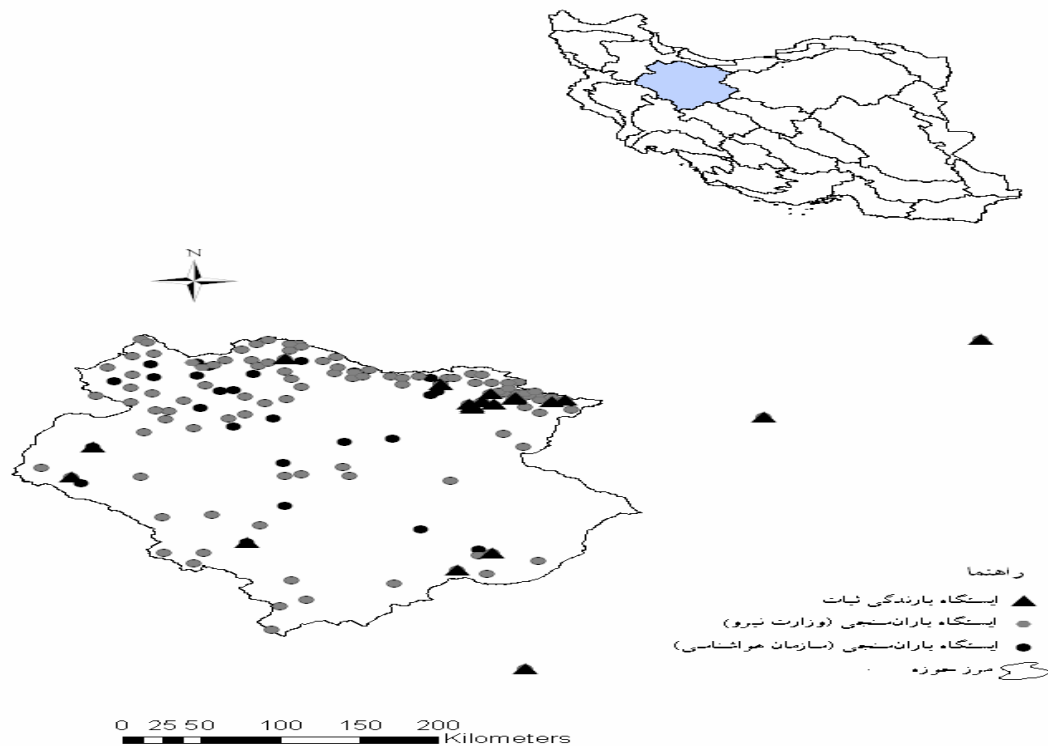
به منظور لحاظ تغییرات اقلیمی در شاخص EI_3 و دستیابی به برآورد مناسب، حداقل به ۲۰ سال آمار شدت بارندگی نیاز است و چون دسترسی به این آمار در بعضی از ایستگاه‌ها وجود نداشت، در این تحقیق، ایستگاه‌هایی با دوره‌ی آماری بیش از ۱۵ سال انتخاب شدند. مجموع ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک، کلیماتولوژی، تبخیر سنجی، باران سنج معمولی و باران‌سنج ذخیره‌ای در حوضه دریاچه نمک حدود ۴۰۰ ایستگاه است. در این تحقیق، از آمار ۱۲۱ ایستگاه باران سنجی با دوره‌ی آماری بیش از ۱۵ سال استفاده شد. کیفیت آمار هر یک از ایستگاه‌های انتخابی از طریق بررسی مقادیر خیلی زیاد و خیلی کم آمار بارندگی روزانه و مقایسه‌ی آنها با بعضی از ایستگاه‌های مجاور انجام گرفته است. در صورت مشاهده‌ی مقادیر خیلی پرت، نسبت به حذف آنها اقدام شده و برخی از داده‌ها با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های مجاور بازسازی شد. بررسی همگنی آمار با استفاده از روش‌های جرم مضاعف و آزمون توالی^۱ (۱۲) انجام گرفت. با توجه به این‌که دسترسی به آمار شدت بارندگی در همه‌ی ایستگاه‌های حوضه دریاچه نمک مقدور نبود، به منظور برآورد شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی باران، از آمار شدت بارندگی با فواصل ۱۰ دقیقه‌ای، ۱۹ ایستگاه ثبات بارندگی که ۱۲ عدد از آنها مربوط به سازمان هواشناسی و بقیه مربوط به وزارت نیرو است، استفاده شد. به دلیل محدود

بودن تعداد ایستگاه‌های ثبات بارندگی، از آمار سه ایستگاه سمنان، شاهرود و اصفهان نزدیک به حوضه دریاچه نمک نیز استفاده شد. پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های بارندگی ثبات و باران‌سنجی حوضه دریاچه نمک در شکل (۱) آرایه شده است.

انتخاب شاخص‌های فرساینده‌ی باران

در این تحقیق چهار شاخص معروف مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی یعنی شاخص‌های EI_3 (۲۰)، AI_m (۱۰)، $KE > 1$ و P/\sqrt{t} (۱۶) برای ۱۹ ایستگاه بارندگی ثبات با در دست داشتن آمار شدت بارندگی با فواصل ۱۰ دقیقه‌ای در طی دوره‌های آماری مختلف محاسبه گردید. لازم به ذکر است که به دلیل در دسترس نبودن آمار شدت یک دقیقه‌ای بارندگی برای محاسبه‌ی حداکثر شدت $7/5$ دقیقه‌ای در شاخص Lal ، حداکثر شدت ۱۰ دقیقه‌ای مبنا قرار گرفت. در جدول ۲ پارامترهای این شاخص‌ها معرفی شده است. همچنین، شاخص‌ها و خصوصیات سهل الوصول بارندگی نظیر شاخص فورنیه (F)، شاخص فورنیه اصلاح شده (MF)، شاخص Ciccacci، متوسط بارندگی سالانه (P)، حداکثر بارندگی روزانه (P_{max24})، حداکثر بارندگی ماهانه (P_{maxm})، انحراف معیار بارندگی‌های ماهانه (P_{stdm}) و انحراف معیار بارندگی‌های سالانه (P_{stdy}) بارندگی برای ۱۲۱ ایستگاه باران‌سنجی با دوره‌ی آماری بین ۲۰ تا ۲۵ سال و ۱۹ ایستگاه ثبات بارندگی محاسبه گردید. فهرست این شاخص‌ها و خصوصیات در جدول (۱) آرایه شده است.

۱-Run Test



شکل ۱- پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های ثابت بارندگی و باران‌سنجی در حوضه دریاچه نمک

جدول ۱- شاخص‌های فرسایندگی باران استفاده شده

شاخص فرسایندگی باران	توضیحات	ماخذ
شاخص EI_{30}	E : انرژی جنبشی یک بارندگی (رگبار) I_{30} : حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در یک بارندگی	Smith و Wischmeier (۱۹۵۸) نقل از Wischmeier و Smith (۱۹۷۸)
شاخص هادسون ($KE > 1$)	KE : کل انرژی جنبشی یک بارندگی برای فواصل زمانی با شدت بیش از یک اینچ در ساعت (۲۵ میلی‌متری در ساعت)	هادسون (۱۹۷۱)
شاخص Lal	A : مقدار بارندگی یک واقعه بارندگی، I_m : حداکثر شدت $7/5$ دقیقه‌ای آن بارندگی	Lal (۱۹۷۶)
شاخص Onchev	P : مقدار بارندگی یک واقعه بارندگی برابر یا بیش از $9/5$ میلی‌متر و با شدت برابر یا بیش از $0/18$ میلی‌متر در دقیقه، t : مدت واقعه بارندگی با شدت برابر یا بیش از $0/18$ میلی‌متر در دقیقه	Onchev (۱۹۸۵)
شاخص فورنیه (P^2/P)	p : متوسط حداکثر بارندگی ماهانه (مرطوب‌ترین ماه سال)؛ P : متوسط بارندگی سالانه	Fournier (۱۹۶۰) نقل از Morgan (۱۹۹۵)
$\frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P}$	p_i : متوسط بارندگی برای ماه i ام و P : متوسط بارندگی سالانه	Arnoldus (۱۹۸۰)
شاخص Ciccacci ($P \cdot \sigma$)	P : متوسط بارندگی سالانه و σ : انحراف معیار مقادیر بارندگیهای ماهانه	Ciccacci و همکاران (۱۹۷۷)، نقل از Hadley و همکاران (۱۹۸۵)

EI_3 , $KE > 1$, AI_m و P/\sqrt{t} به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های آبعلی، آبان شمالی و کلک چال است، در صورتی که ایستگاه کاشان کمترین مقدار شاخص‌های EI_3 و AI_m را به خود اختصاص داده است. مقادیر شاخص هادسون در ایستگاه‌های اراک، اصفهان، شاهرود، قزوین، کاشان و کاخ در طول دوره‌ی آماری مورد بررسی برابر با صفر بوده است. این نشان‌دهنده‌ی این است که در ایستگاه‌های یادشده در طی دوره‌ی آماری مورد بررسی، باران‌هایی با شدت ۲۵ میلی‌متر در ساعت وجود نداشته است. همچنین مقادیر شاخص P/\sqrt{t} در ایستگاه‌های اراک، سمنان و کاشان نیز برابر با صفر است که نشان‌دهنده‌ی این است که در این ایستگاه‌ها در طی دوره‌ی آماری مورد بررسی رگبارهایی با مقدار بارندگی بیش از ۹/۵ میلی‌متر با شدت بارندگی برابر یا بیش از ۱۰/۸ میلی‌متر در ساعت وجود نداشته است. آماره‌های توصیفی چهار شاخص EI_3 , $KE > 1$, AI_m و P/\sqrt{t} در ایستگاه‌های بارندگی ثبات، طی دوره‌های آماری مورد بررسی در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، میانگین شاخص‌های EI_3 , $KE > 1$, AI_m و P/\sqrt{t} در ایستگاه‌های ثبات بارندگی بر حسب واحد مربوطه به ترتیب برابر با ۸۶/۵۴، ۶۴/۳۲، ۵۹/۷۰ و ۳/۵۶ است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، بالاترین ضریب تغییرات مربوط به شاخص $KE > 1$ است، در صورتی که شاخص EI_3 کمترین ضریب تغییرات را در بین سایر شاخص‌ها دارد. بر اساس جدول یاد شده، توزیع شاخص EI_3 و P/\sqrt{t} از توزیع نرمال تبعیت می‌کند ولی توزیع شاخص‌های هادسون و AI_m نرمال نیست.

برآورد شاخص‌های EI_3 , $KE > 1$, AI_m و

P/\sqrt{t} در ایستگاه‌های باران‌سنجی

به منظور برآورد شاخص‌های EI_3 , $KE > 1$, AI_m و P/\sqrt{t} در ایستگاه‌های باران‌سنجی، رابطه‌ی رگرسیونی بین شاخص‌های یاد شده و شاخص‌ها و خصوصیات سهل‌الوصول بارندگی مانند متوسط بارندگی سالانه، ماکزیمم بارندگی ماهانه، حداکثر بارندگی روزانه، انحراف معیار بارندگی ماهانه و سالانه، شاخص فورنیه و شاخص اصلاح شده فورنیه از طریق رگرسیون دو گانه و چندگانه مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا ماتریس همبستگی بین متغیرهای مستقل تشکیل شد. در مواردی که همبستگی بیش از ۵ درصد بین متغیرهای مستقل مشاهده گردید، متغیرها غیر مستقل تلقی شده و از ورود هم زمان آنها به معادلات جلوگیری به عمل آمد. در نهایت معادلاتی مورد پذیرش قرار گرفت که ضریب همبستگی کل و ضرایب همبستگی جزئی هر یک از متغیرها در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین، از دو معیار ضریب تعیین و اشتباه استاندارد معادلات به دست آمده، برای انتخاب معادله‌ی مناسب‌تر، استفاده شد. در شرایط برابر، براساس تعداد متغیرها و همچنین سادگی و دشواری اندازه‌گیری متغیرهای وارد شده به مدل، تصمیم‌نهایی اتخاذ شده و مدل برتر انتخاب شده است.

نتایج و بحث

در جدول (۲) مقادیر شاخص‌های EI_3 , $KE > 1$, AI_m و P/\sqrt{t} ۱۹ ایستگاه ثبات بارندگی ارائه شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، بیشترین مقادیر شاخص‌های

جدول ۲- مقادیر شاخص EI_r ، $KE > 1$ ، AI_m و P/\sqrt{t} در ایستگاه‌های ثابت بارندگی

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	EI_r (MJ. mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .y ⁻¹)	KE (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .y ⁻¹)	AI_m (mm ² /h)	P/\sqrt{t} (mm/h ^{1/2})
۱	اراک	۴۹° ۴۶'	۳۴° ۶'	۸۱/۳۵	۰/۰۰	۴/۹	۰/۰۰
۲	اصفهان	۵۱° ۴۰'	۳۲° ۳۷'	۳۵/۳۷	۰/۰۰	۱۶/۴	۱۴/۰
۳	آبان شمالی	۵۱° ۲۸'	۳۵° ۴۳'	۱۰۲/۴۷	۰۴/۴۲۲	۴۷/۱۱۷	۴۴/۵
۴	آبعلی	۵۱° ۵۹'	۳۵° ۴۶'	۲۶۷/۸۲	۵۲/۵۵	۱۷/۳۰	۵۸/۲
۵	تهران - پارس	۵۱° ۵۳'	۳۵° ۴۵'	۱۱۳/۶۰	۹/۹۰	۲/۱۲۲	۱/۸
۶	تهران - مهرآباد	۵۱° ۱۹'	۳۵° ۴۱'	۳۵/۵۱	۳۱/۱	۴۳/۴	۰۹/۰
۷	دوشان تپه	۵۱° ۲۰'	۳۵° ۴۲'	۴۳/۶۶	۴۹/۳	۰۵/۴	۵۶/۰
۸	سد کرج	۵۱° ۶'	۳۵° ۵۷'	۱۵۶/۰۰	۷۵/۱۴۴	۱۷/۱۹۲	۱۳/۹
۹	سد لتیان	۵۱° ۳۸'	۳۵° ۴۸'	۱۱۹/۹۰	۱۲/۲۰۹	۲۶/۱۳۹	۴۷/۶
۱۰	سمنان	۵۳° ۲۳'	۳۵° ۳۳'	۱۶/۷۴	۰۰/۰۰	۸۹/۱	۰/۰۰
۱۱	شاهرود	۵۴° ۵۷'	۳۶° ۲۵'	۳۸/۰۰	۰/۰۰	۷۴/۳	۲۲/۰
۱۲	قزوین	۵۰° ۰۰'	۳۶° ۱۵'	۷۶/۶۱	۰/۰۰	۷/۸	۲۹/۰
۱۳	کاشان	۵۱° ۲۷'	۳۳° ۵۹'	۱۴/۵۶	۰/۰۰	۷۱/۱	۰/۰۰
۱۴	کاخ	۵۱° ۳۷'	۳۵° ۴۷'	۱۰۲/۹۱	۰/۰۰	۶۱/۱۲	۱۶/۰
۱۵	کلک چال	۵۱° ۲۷'	۳۵° ۵۱'	۱۷۶/۹۰	۰۳/۱۰۰	۷۷/۲۱۹	۵۳/۹
۱۶	تصفیه خانه کن	۵۱° ۱۸'	۳۵° ۴۴'	۹۹/۹۰	۱/۱۲۹	۹۳/۱۱۸	۹۶/۵
۱۷	همدان - فرودگاه	۴۸° ۳۲'	۳۴° ۵۱'	۳۵/۸۹	۰/۰۰	۸۷/۳	۱۶/۰
۱۸	همدان - نوژه	۴۸° ۴۱'	۳۵° ۱۲'	۹۱/۳۱	۸۳/۱	۸۵/۱	۱۸/۰
۱۹	یوسف‌آباد بالا	۵۱° ۲۴'	۳۵° ۴۵'	۱۱۰/۲۴	۰۳/۶۴	۹۸/۱۳۷	۷۲/۵

معیار بارندگی‌های سالانه است. رابطه‌ی همبستگی بین شاخص فورنیه اصلاح شده با شاخص EI_3 در این تحقیق برابر با ۰/۸۰ به دست آمده است که با یک درصد اختلاف در رتبه دوم قرار دارد. همچنین ضریب همبستگی شاخص فورنیه با شاخص EI_3 برابر با ۰/۵۵ است.

در مرحله‌ی بعد، بین شاخص EI_3 و سایر متغیرهای مستقل، رابطه‌ی رگرسیونی چندگانه برقرار گردید. لذا، با ارزیابی مدل‌های به دست آمده، مشخص شد مدلی که در آن از شاخص فورنیه اصلاح شده، ارتفاع و حداکثر بارندگی ماهانه استفاده شده است، بیشترین ضریب تعیین و کمترین اشتباه استاندارد را در بین مدل‌های دیگر دارد. در نتیجه به منظور برآورد شاخص EI_3 در مناطق فاقد آمار، شدت بارندگی مناسب تشخیص داده شد. رابطه‌ی یادشده به شرح زیر است:

$$\ln(EI_{30}) = -149 + 2.55 \ln(MF) + 1.28(H) - 0.0135(P_{maxm})$$

معادله‌ی (۱) $R^2 = 0.93$ و $p < 0.01$

که در آن EI_3 شاخص فرسایندگی باران (مگاژول - میلی‌متر در هکتار در ساعت در سال)، MF شاخص فرسایندگی فورنیه اصلاح شده (میلی‌متر)، H ارتفاع (متر) و P_{maxm} حداکثر بارندگی ماهانه (میلی‌متر) است.

رابطه‌ی بین شاخص فرسایندگی محاسبه شده در ایستگاه‌های ثبات باران و شاخص EI_3 محاسبه شده با استفاده از رابطه‌ی (۱) در شکل (۲) آرایه شده است.

به منظور برآورد شاخص‌های EI_3 ، $KE > 1$ ، AI_m و P/\sqrt{t} در ایستگاه‌های باران‌سنجی، شاخص‌ها و خصوصیات سهل الوصول بارندگی نظیر شاخص فورنیه (F)، شاخص فورنیه اصلاح شده (MF)، شاخص Ciccacci، متوسط بارندگی سالانه (P)، حداکثر بارندگی روزانه (P_{max24})، حداکثر بارندگی ماهانه (P_{maxm})، انحراف معیار بارندگی‌های ماهانه (P_{stdm}) و انحراف معیار بارندگی‌های سالانه (P_{stdy}) برای ۱۹ ایستگاه ثبات بارندگی برای دوره‌های آماری مختلف محاسبه گردید.

در جدول (۴)، آماره‌های توصیفی شاخص‌ها و خصوصیات سهل الوصول بارندگی در ایستگاه‌های بارندگی ثبات ارائه شده است. براساس جدول (۵)، داده‌های شاخص فورنیه، شاخص فورنیه اصلاح شده، شاخص Ciccacci، متوسط بارندگی سالانه، حداکثر بارندگی روزانه، حداکثر بارندگی ماهانه و انحراف معیار بارندگی‌های ماهانه از توزیع نرمال تبعیت می‌کند در حالی که توزیع داده‌های انحراف معیار بارندگی‌های سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته نرمال نمی‌باشد.

مدل رگرسیونی برآورد شاخص EI_3

جدول (۵) ضریب همبستگی بین شاخص‌های EI_3 ، $KE > 1$ ، AI_m و P/\sqrt{t} و سایر ویژگی‌های سهل الوصول بارندگی را در ایستگاه‌های ثبات بارندگی نشان می‌دهد. بر اساس جدول یاد شده، متوسط بارندگی سالانه با ضریب همبستگی ۰/۸۴ بیشترین همبستگی را با شاخص EI_3 دارد و کمترین همبستگی مربوط به انحراف

جدول ۳- آماره‌های توصیفی شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی در حوضه دریاچه نمک

متغیر	آماره	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر	دامنه	چولگی	کشیدگی
شاخص EI_p ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.y^{-1}$)	۸۶/۵۴	۶۴/۹۳	۷۵	۱۴/۵۶	۲۶۷/۸۲	۲۵۳/۲۶	۱/۲۴	۱/۹۸	
شاخص KE ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.y^{-1}$)	۶۴/۳۲	۱۰۷/۰۰	۱۶۷	۰/۰۰	۴۲۲/۰۴	۴۲۲/۰۴	۶/۰۵	۱/۰۱	
شاخص AI_m (mm^2/h)	۵۹/۷۰	۷۴/۵۸	۱۲۵	۱/۷۱	۲۱۹/۷۷	۲۱۸/۰۶	-۶/۱۱	۱/۰۱	
شاخص P/\sqrt{t} ($mm/h^{1/2}$)	۲/۸۸	۳/۵۶	۱۲۷	۰/۰۰	۹/۵۳	۹/۵۳	۰/۷۸	-۱/۰۸	

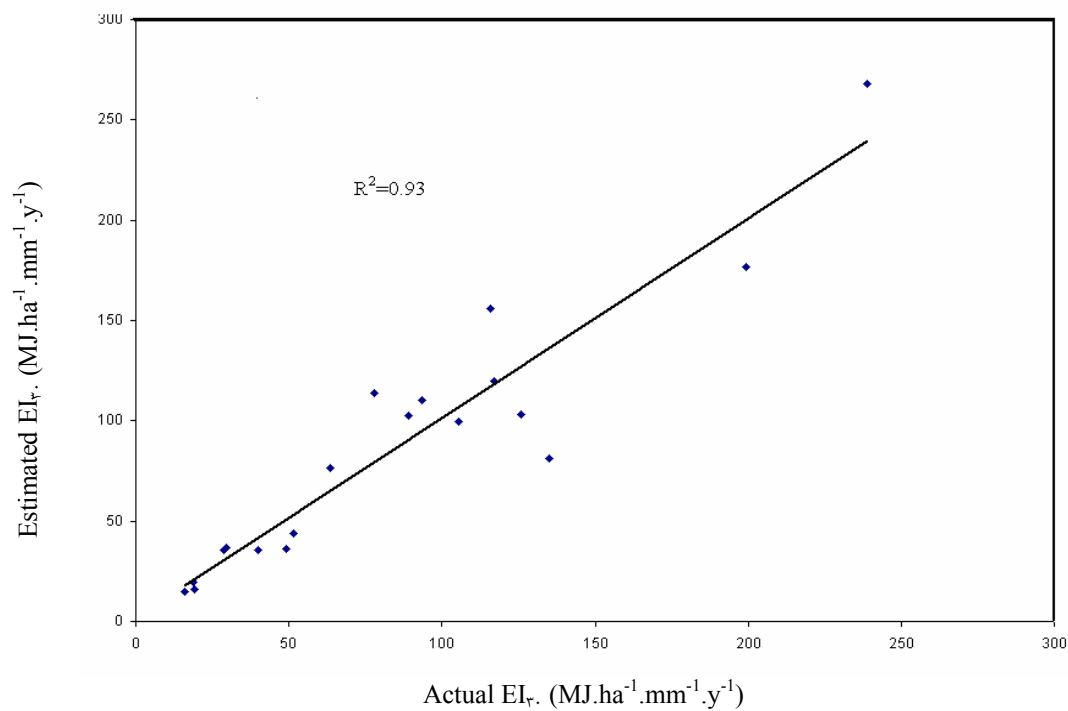
جدول ۴- آماره‌های توصیفی شاخص‌ها و خصوصیات سهل‌الوصول بارندگی در ایستگاه‌های ثابت بارندگی

متغیر	آماره	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر	دامنه	چولگی	کشیدگی
شاخص فورنیه (میلی‌متر)	۲۸/۴۳	۱۴/۱۳	۴۹/۷۰	۱۳/۹۷	۵۹/۸۵	۴۵/۸۸	۱/۰۴	-۰/۴۱	
شاخص فورنیه اصلاح شده (میلی‌متر)	۴۶/۷۵	۱۸/۹۱	۴۰/۴۴	۱۹/۰۲	۸۱/۰۵	۶۲/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۹۹	
شاخص $P\delta$ (میلی‌متر)	۸۱۴۳/۷۲	۶۱۵۱/۴۳	۷۵/۵۳	۳۳۱/۱۱	۱۹۹۲۸/۰۹	۱۹۵۹۶/۹۸	۰/۵۹	-۰/۵۳	
متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	۳۳۲/۰۱	۱۲۳/۹۴	۳۷/۳۳	۱۳۳/۰۵	۵۵۹/۲۷	۴۲۶/۲۲	-۰/۲۰	-۰/۶۴	
انحراف معیار بارندگی‌های ماهانه	۳۵/۹۷	۱۷/۴۶	۴۸/۵۴	۱۴/۳۸	۷۷/۳۱	۶۲/۹۳	۰/۸۷	۰/۳۰	
انحراف معیار بارندگی‌های سالانه	۴۷۴/۴۶	۱۵۲۴/۴۸	۳۰/۲۱	۳۴/۶۵	۶۷۵۹/۲۱	۶۷۲۴/۵۶	۴/۳۳	۱۸/۸۴	
حداکثر بارندگی روزانه (میلی‌متر)	۳۶/۲۲	۱۵/۶۶	۴۳/۲۴	۲۰/۳۰	۷۸/۸۳	۵۷/۵۳	۱/۷۴	۲/۹۳	
حداکثر بارندگی ماهانه (میلی‌متر)	۹۲/۵۵	۳۶/۴۳	۳۹/۳۶	۴۲/۸۹	۱۵۹/۸۹	۱۱۷/۰۰	۰/۴۱	-۰/۶۶	

جدول ۵- ضریب همبستگی بین شاخص‌های مبتنی بر شدت بارندگی و شاخص‌ها و خصوصیات سهل الوصول بارندگی در ایستگاه‌های ثبات بارندگی

متغیر	F	MF	P	$P.\delta$	P_{maxm}	P_{max24}	P_{stdm}	P_{stdy}	H
EI_r	۰/۵۵ *	۰/۸۰ ***	۰/۸۴ ***	۰/۸۰ ***	۰/۷۴ ***	۰/۴۲	۰/۳۸	-۰/۴۳	۰/۷۵ ***
$KE>1$	۰/۴۹ *	۰/۵۷ *	۰/۴۴	۰/۴۹ ***	۰/۵۹ ***	۰/۷۱ ***	۰/۴۷ *	-۰/۱۰	۰/۰۱
AI_m	۰/۶۲ ***	۰/۶۷ ***	۰/۶۴ ***	۰/۶۷ ***	۰/۶۷ ***	۰/۵۵ *	۰/۴۱	-۰/۱۶	۰/۳۰
P/\sqrt{t}	۰/۵۹ ***	۰/۶۶ ***	۰/۶۴ ***	۰/۶۵ ***	۰/۶۵	۰/۵۲ *	۰/۴۰	-۰/۱۵	۰/۳۲

** در سطح یک درصد معنی‌دار است و * در سطح پنج درصد معنی‌دار است



شکل ۲- رابطه‌ی بین EI_r محاسبه شده و برآورد شده با استفاده از معادله‌ی (۱)

بارندگی ماهانه به دلیل سهولت محاسبه و در دسترس بودن نسبت به شاخص $P\delta$ و شاخص فورنیه اصلاح شده ترجیح داده شده است و در نهایت از رابطه‌ی زیر برای برآورد شاخص AI_m استفاده گردید:

$$AI_m = -68.18 + 1.38(P_{maxm})$$

معادله‌ی (۳): $R^2=0.46$ و $p<0.05$

که در آن AI_m شاخص فرسایندگی باران (میلی‌متر مربع بر ساعت)، P_{maxm} حداکثر بارندگی ماهانه (میلی‌متر) است (شکل ۴).

مدل رگرسیونی برای برآورد شاخص

P/\sqrt{t}

همان‌طوری که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، شاخص فورنیه اصلاح شده (MF) با ضریب همبستگی ۰/۶۶ (در سطح یک درصد معنی‌دار است) بیشترین همبستگی را با شاخص P/\sqrt{t} دارا است. در رتبه‌ی بعدی، شاخص $P\delta$ و حداکثر بارندگی ماهانه (P_{maxm}) با ضریب همبستگی ۰/۶۵ بیشترین همبستگی را با شاخص P/\sqrt{t} دارند که در سطح یک درصد نیز معنی‌دار می‌باشند. در حالی که کمترین ضریب همبستگی مربوط به انحراف معیار بارندگی‌های سالانه است. پس از بررسی مدل‌های رگرسیونی مختلف، مدل زیر به منظور برآورد شاخص P/\sqrt{t} انتخاب گردید.

$$\frac{P}{\sqrt{t}} = -2.94 + 0.10 \times MF$$

معادله‌ی (۴): $R^2=0.43$ و $p<0.05$

که در آن MF شاخص فورنیه اصلاح شده (میلی‌متر) و P/\sqrt{t} شاخص Oncheve (میلی‌متر بر ساعت) است.

مدل رگرسیونی برآورد شاخص $KE>1$

بر اساس جدول (۵) حداکثر بارندگی روزانه و ماهانه بیشترین همبستگی را با شاخص $KE>1$ به ترتیب با مقادیر ۰/۷۱ و ۰/۵۹ دارند که این همبستگی در سطح یک درصد معنی‌دار است. پس از برقراری روابط رگرسیونی مختلف بین شاخص هادسون و سایر شاخص‌ها، مدل زیر با ضریب تعیین ۰/۵۹ برای برآورد این شاخص در ایستگاه‌های باران‌سنجی فاقد آمار شدت بارندگی انتخاب گردید.

$$KE = -112.15 + 4.87(P_{max24})$$

معادله‌ی (۲): $R^2=0.59$ و $p<0.05$

که در آن KE شاخص هادسون ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$) و P_{max24} حداکثر بارندگی روزانه (میلی‌متر) است.

رابطه‌ی بین شاخص هادسون محاسبه شده در ایستگاه‌های ثبات بارندگی و شاخص $KE>1$ برآورد شده با استفاده از رابطه‌ی (۲) در شکل (۳) ارائه شده است.

مدل رگرسیونی برآورد شاخص AI_m

بر اساس جدول (۵) سه متغیر شاخص فورنیه اصلاح شده (MF)، شاخص $P\delta$ و حداکثر بارندگی ماهانه (P_{maxm}) با ضریب همبستگی ۰/۶۷ بالاترین همبستگی را در بین سایر متغیرهای مستقل دارا می‌باشند. همبستگی بالا و یکسان این سه متغیر را چنین می‌توان توجیه کرد که در محاسبه شاخص فورنیه اصلاح شده و شاخص $P\delta$ ، حداکثر بارندگی ماهانه یکی از پارامترهای اصلی مدل است. استفاده از حداکثر

آمده بین شاخص EI_3 و شاخص فورنیه اصلاح شده در تحقیقات شاهویی و رفاهی (۳)، رنارد و فریموند (۱۷) به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۹۰ به دست آمده است.

براساس جدول (۵)، ضریب همبستگی شاخص فورنیه با شاخص EI_3 برابر با ۰/۵۵ است، در حالی که ضریب همبستگی شاخص فورنیه اصلاح شده با شاخص فرسایندگی باران ۰/۷۹ است که در سطح یک درصد معنی‌دار است. همبستگی پایین شاخص فورنیه با EI_3 ، به این دلیل است که این شاخص، توزیع ماهانه‌ی بارندگی را در طول سال در نظر نمی‌گیرد و با افزایش تعداد بارندگی‌های فرسایش‌زا در طول سال، این شاخص تغییر نمی‌کند، در حالی که مقادیر شاخص EI_3 ، با افزایش تعداد رخدادهای بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای، افزایش می‌یابد. نتایج همبستگی بین شاخص EI_3 و شاخص‌ها و خصوصیات سهل‌الوصول بارندگی در ایستگاه‌های ثبات بارندگی، نشان‌دهنده‌ی این است که همبستگی شاخص فورنیه اصلاح شده با شاخص‌های EI_3 ، $KE > 1$ ، AI_m و P/\sqrt{t} بالاتر از شاخص فورنیه است و این اختلاف در مورد شاخص EI_3 بسیار مشهودتر است. همچنین، متغیر ارتفاع همبستگی بالا و معنی‌داری با شاخص EI_3 دارد به طوری که استفاده از این متغیر در معادله‌ی رگرسیونی سبب می‌شود ضریب تعیین معادله‌ی رگرسیونی به منظور برآورد شاخص EI_3 از ۰/۸۲ به ۰/۹۲ افزایش یابد. به عبارت دیگر متغیر ارتفاع می‌تواند به عنوان یک متغیر کمکی در برآورد شاخص EI_3 مورد استفاده قرار گیرد. این مشابه نتیجه‌ای است

پس از انتخاب روابط رگرسیونی مناسب شاخص‌های EI_3 ، $KE > 1$ ، AI_m و P/\sqrt{t} ، برای ۱۲۱ ایستگاه باران‌سنجی حوضه دریاچه نمک برآورد گردید. جدول (۶) آمارهای توصیفی این چهار شاخص برآوردی را ایستگاه‌های یادشده نشان می‌دهد. بیشترین میانگین شاخص فرسایندگی باران مربوط به شاخص EI_3 و کمترین مقدار مربوط به شاخص P/\sqrt{t} است. همچنین، شاخص EI_3 و شاخص هادسون به ترتیب کمترین و بیشترین ضریب تغییرات را دارا می‌باشند. همان طوری که ملاحظه می‌شود توزیع شاخص EI_3 ، AI_m و P/\sqrt{t} دارای توزیع نرمال است، در شرایطی که شاخص $KE > 1$ از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند.

نتیجه‌گیری نهایی

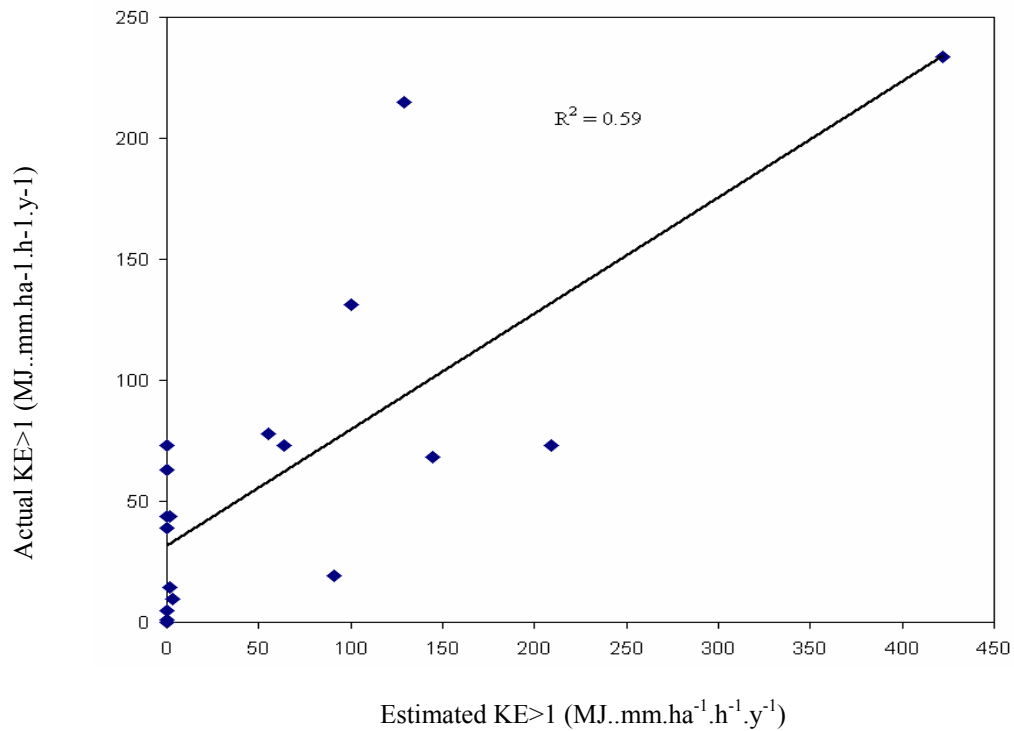
نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان‌دهنده‌ی این است که متوسط بارندگی سالانه با ضریب همبستگی ۰/۸۴ بیشترین همبستگی را با شاخص EI_3 دارند. همبستگی بالای متوسط بارندگی سالانه با شاخص EI_3 در تحقیقات رنارد و فریموند (۱۷)، سکوتی اسکوتی (۲) در مناطق مرکزی استان آذربایجان غربی و میخائیلووا و همکاران (۱۳) در منطقه‌ی هندوراس تأیید شده است. در این تحقیق رابطه‌ی همبستگی بین شاخص فورنیه اصلاح شده با شاخص EI_3 برابر با ۰/۸۰ به دست آمده است که با یک درصد اختلاف در رتبه‌ی دوم قرار دارد. مطالعات انجام شده در ایران و جهان نیز همبستگی بالای شاخص فورنیه اصلاح شده را با EI_3 تأیید کرده است. رابطه‌ی همبستگی به دست

با ضریب همبستگی $0/66$ که در سطح یک درصد معنی دار است، بیشترین همبستگی را با شاخص $Onchev$ دارا است. با توجه به این که معادله‌ی رگرسیونی برای برآورد شاخص EI_3 بالاترین ضریب تعیین و کمترین ضریب تعیین را در بین سایر مدل‌های رگرسیونی دارد، شاخص EI_3 به عنوان شاخص برتر برای نشان دادن شاخص فرساینده‌ی باران در حوضه دریاچه نمک پیشنهاد می‌گردد.

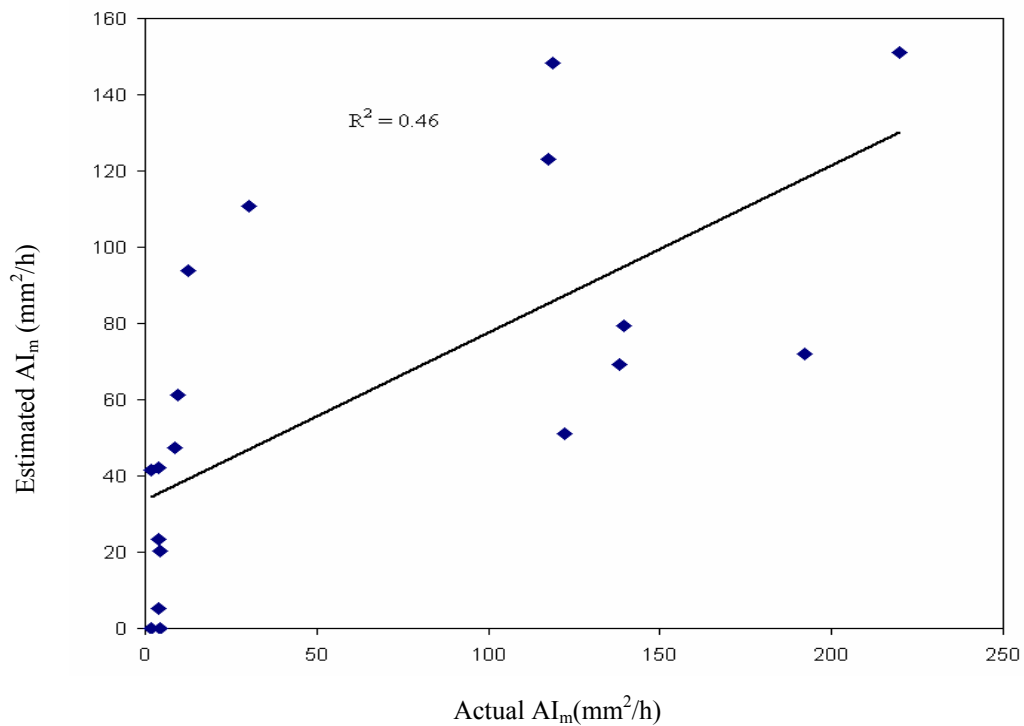
سپاس‌گزاری

از راهنمایی‌ها و کمک‌های آقایان مهندس امیر علی پور، مهندس نجفقلی غیائی و مهندس علی اکبر نوروزی و کارشناسان محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در تهیه‌ی آمار و اطلاعات هواشناسی قدردانی می‌نمایم.

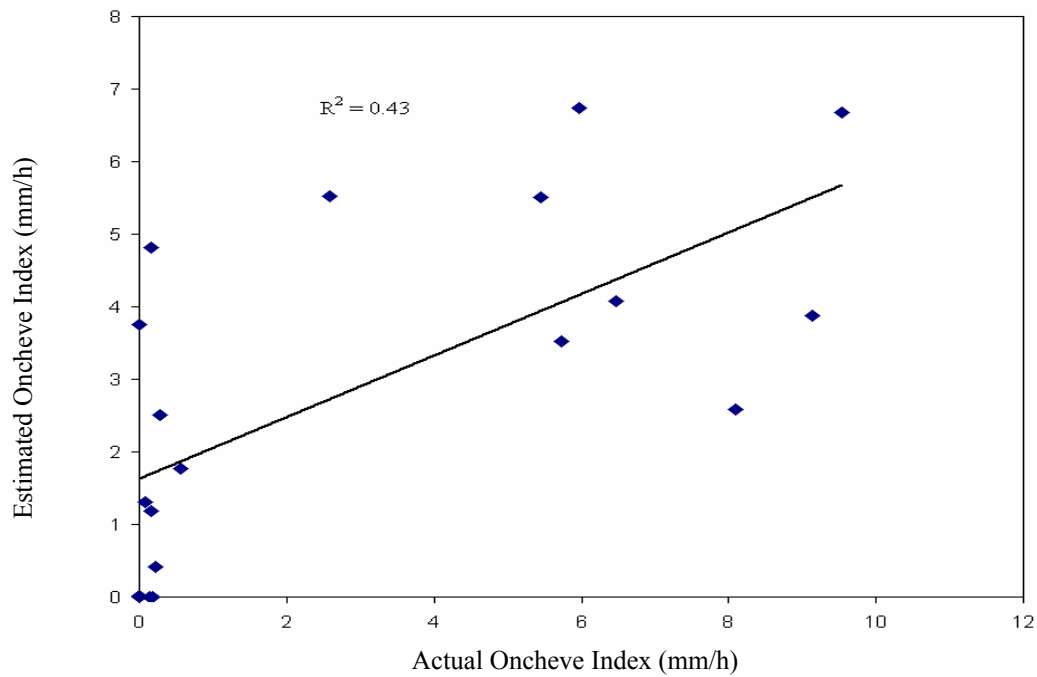
که میخائیلوآ و همکاران (۱۳) برای منطقه‌ی هندوراس به دست آوردند. آنها در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند هنگامی که از متوسط بارندگی سالانه به تنهایی برای برآورد EI_3 استفاده می‌شود، ضریب تعیین معادله $0/86$ است ولی هنگامی که از متغیر ارتفاع و متوسط بارندگی استفاده می‌شود ضریب تعیین به $0/97$ افزایش می‌یابد. همچنین، شاخص فورنیه اصلاح شده (MF)، شاخص $P\delta$ و حداکثر بارندگی ماهانه (Pmaxm) با ضریب همبستگی $0/67$ بالاترین همبستگی را در بین سایر متغیرهای مستقل با شاخص AI_m دارا می‌باشند. همچنین، حداکثر بارندگی روزانه و ماهانه بیشترین همبستگی را با شاخص هادسون به ترتیب با مقادیر $0/71$ و $0/59$ دارند که این همبستگی در سطح یک درصد معنی دار است. شاخص فورنیه اصلاح شده (MF)



شکل ۳- رابطه بین $KE>1$ محاسبه شده و برآورد شده با استفاده از معادله‌ی (۲)



شکل ۴- رابطه بین AI_m محاسبه شده و برآورد شده با استفاده از معادله‌ی (۳)



شکل ۵- رابطه بین شاخص P/\sqrt{t} محاسبه شده و برآورد شده با استفاده از معادله ی (۴)

جدول ۶- آماره های توصیفی شاخص های مبتنی بر شدت بارندگی برآورد شده در ایستگاه های باران سنجی

متغیر	آماره	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
شاخص EI_3	۱۰۴/۶۱	۶۶/۰۱	۶۳	۱۰/۷۹	۳۴۲/۷۵	۱/۰	۱/۰۵	
شاخص هادسون	۴۵/۰۳	۴۸/۴۵	۱۰۸	۰/۰۰	۲۷۲/۵۷	۱/۶	۳/۸۷	
شاخص Lal	۵۹/۳۳	۴۱/۹۵	۷۱	۰/۰۰	۱۷۷/۸۲	۰/۷۳	-۰/۱۰	
شاخص P/\sqrt{t}	۳/۱۰	۲/۰۳	۶۴	۰/۰۰	۸/۹۳	۰/۶۳	-۰/۱۴	

منابع مورد استفاده

- ۱- حکیم‌خانی، ش.، م.ح. مهدیان، م. عرب‌خدیری، و د. قربان‌پور. ۱۳۸۴. بررسی فرساینده‌گی باران در سطح کشور به روش فورنیه اصلاح شده. سومین سمینار ملی فرسایش و رسوب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۹-۶ شهریور. ۲۸۱-۲۸۸.
- ۲- سکوتی اسکویی، ر. ۱۳۷۸. محاسبه شاخص فرساینده‌گی باران در مناطق مرکزی استان آذربایجان غربی. مجله پژوهش و سازندگی. نشریه شماره ۴۳. صفحات ۱۱-۱۷.
- ۳- شاهویی، ص. و ح. رفاهی. ۱۳۷۵. استفاده از جداول شدت، مدت و دوره برگشت برای محاسبه شاخص فرساینده‌گی باران و مقایسه آن با سایر روش‌های موجود. اولین سمینار ملی فرسایش و رسوب، نور، ۲۶۵-۲۷۳.
- ۴- فیض‌نیا، س. ۱۳۸۱. بررسی علل زمین‌شناسی بیابانی شدن غرب حوضه مرکزی. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- ۵- قدیری، ح. ۱۳۷۲. حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران.
- 6- Arnoldus, H.M.J. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M., Gabriels, D. Eds., Assessment of Erosion. Chichester, New York. pp. 127-132.
- 7- Diodato, N. 2005. Predicting RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) monthly erosivity index from readily available data in Mediterranean area. *The Environmentalist*. 25: 36-70
- 8- Hadley, R.F., R. Lal, C.A. Onstad, D.E. Walling, and A. Yair. 1985. Recent developments in erosion and sediment yield studies. UNESCO, Paris, 127 pp.
- 9- Lal, R. and W. Elliot. 1994. Erodibility and erosivity. In Lal, R. (ed.), Soil erosion research methods. Soil and Water Conservation Society. Ankeny. 181-208.
- 10- Lal, R. 1976. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria. Effects of rainfall characteristics. *Geoderma*. 16: 389-401.
- 11- Loureiro, N.S. and M.A. Coutinho. 2001. A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. *Journal of Hydrology*. 250: 12-18.
- 12- Mc Cuen, R.H. 1996. Hydrological analysis and design. Prentice Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey.
- 13- Mikhailova, E.A., R.B. Bryant, S.J. Schwager, and S.D. Smith. 1997. Predicting rainfall erosivity in Honduras. *Soil Science Society of America Journal*. 61(1): 273-279.
- 14- Morgan, R.P.C. 1995. Soil erosion and conservation. Addison-Wesley, London. 198 pp.

- 15- Ogedengbe, K., A.O. Adesina, and R.T. Alabi. 2008. Estimation of the R-factor of universal soil loss equation using monthly rainfall amount for Nigeria. *J. World Assoc. Soil Water Conserv.* 3:20-26.
- 16- Onchev, N.G. 1985. Universal index for calculating rainfall erosivity. In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C. and Lo, A. (eds), *Soil erosion and conservation*, Soil Conservation Society of America, Ankeny. IO. pp. 424-431.
- 17- Renard, K.G. and J.R. Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology.* 157: 287-306.
- 18- Salles, C. and J. Poesen. 2000. Rain properties controlling soil splash detachment. *Hydrol. Process.* 14: 271-282.
- 19- Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena.* 57: 251-259.
- 20- Wichmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. *Predicting rainfall losses-a guide to conservation planning.* Agriculture Handbook No. 537, US Department of Agriculture, Washington, DC.

Archive of SID