

## بررسی خصوصیات الگوی توزیع مکانی فرساینده‌گی باران در استان هرمزگان

بهزاد عادل - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان  
حمید غلامی\* - عضو هیات علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان  
علیرضا نفرزادگان - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۴/۱۸

### چکیده

نیرو محرکه فرسایش آبی نیروی برشی حاصل از سقوط قطرات آب باران می‌باشد که تحت عنوان عامل فرساینده‌گی باران در معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) نیز مطرح می‌باشد. از این رو آگاهی از میزان و الگوی تغییرات مکانی آن برای بهبود مدیریت سرزمین و ارزیابی ریسک فرسایش خاک در شرایط آینده کاربری اراضی و تغییر اقلیم بسیار مهم و حیاتی است. هدف از این تحقیق بررسی الگوی تغییرات فضایی عامل فرساینده‌گی باران با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده در استان هرمزگان می‌باشد. بدین منظور، اطلاعات نقطه‌ای شاخص فورنیه اصلاح شده در ۶۷ ایستگاه باران‌سنجی استان برآورد گردید. تبدیل اطلاعات نقطه‌ای عامل فرساینده‌گی به اطلاعات ناحیه‌ای این عامل، بعد از برازش مدل تغییرنما و انتخاب روش میان‌یابی برتر در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS و GS+ صورت گرفت. همچنین جهت بررسی ارتباط عامل فرساینده‌گی باران با متغیرهای ارتفاع، بارندگی و طول و عرض جغرافیایی، ماتریس همبستگی محاسبه شد و معلوم گردید که قدرت فرساینده‌گی بارندگی در استان هرمزگان تنها با مقادیر بارندگی ارتباط معنادار دارد و با دیگر متغیرها ارتباط معناداری مشاهده نگردید. نتایج نشان داد که ساختار فضایی داده‌های تحقیق از مدل تغییرنمای خطی تبعیت می‌کند و روش میان‌یابی عکس فاصله با توان ۳، برترین روش برای پهنه‌بندی داده‌های تحقیق تشخیص داده شد. همچنین نتایج نشان داد که دامنه فرساینده‌گی برای ایستگاه‌های مورد بررسی از MJ mm ha-1h-1yr-1 ۳۲ در ایستگاه جاسک تا MJ mm ۴۱۴ ha-1h-1yr-1 در ایستگاه سد استقلال متغیر می‌باشد. همچنین تغییرات عامل فرساینده‌گی باران استان هرمزگان، از الگوی منظمی پیروی نمی‌کند به طوری که لکه‌های نامتناجس، در مناطق مختلف استان قابل مشاهده است. در مجموع بیشترین فراوانی با حدود ۴۰ درصد از کل مساحت منطقه در دامنه فرساینده‌گی MJ mm ha-1h-1yr-1 ۱۴۰-۱۰۰ قرار دارد و تنها ۷/۶ درصد از مساحت استان هرمزگان متأثر از بارش‌هایی با قدرت فرساینده‌گی بیش از MJ mm ha-1h-1yr-1 ۲۰۰ می‌باشد.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، شاخص فورنیه، تغییرنما، نقشه‌های هم‌فرساینده، هرمزگان

## مقدمه

فرسایش تشدیدی خاک یکی از فرآیندهایی است که تأثیرات نامطلوبی بر منابع آب و خاک می‌گذارد. آب، باد، یخچال و نیروی ثقل چهار عامل اصلی در فرسایش خاک به حساب می‌آیند که در کشور ایران فرسایش ناشی از آب (فرسایش آبی) از وسعت و پیچیدگی بالاتری برخوردار می‌باشد (صادقی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۵۲). فرسایش آبی مشکلات عدیده‌ای مانند کاهش حاصلخیزی و بهره‌وری خاک از طریق کاهش اراضی قابل کشت، افزایش فعالیت‌های زمین‌لغزشی، تخریب اکوسیستم و پخش آلاینده‌ها از طریق ورود جریان رسوب به رودخانه‌ها به همراه دارد (هتو و لی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱: ۳۳). هم‌چنین فرسایش خاک با توجه به اثرات محیط زیستی آن، یکی از عوامل اصلی تخریب حوزه‌های آبخیز به شمار می‌آید (صادقی و جزبای<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵: ۳۸۴؛ لودویگ<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶: ۳۲۸). جدا شدن ذرات خاک توسط قطرات باران و انتقال ذرات جدا شده توسط رواناب دو فرآیند پایه‌ای فرسایش آبی می‌باشند اساساً فرسایش آبی با جدایش ذرات خاک که به‌طور عمده توسط نیروی برشی ناشی از سقوط قطرات باران کنترل می‌شود آغاز می‌شود (صادقی و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۵۲). این عامل به‌عنوان عامل فرساینده باران شناخته می‌شود (پتکووسک و میکوس<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴: ۸۷۱؛ اسدی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۸: ۸۰). مفهوم فرساینده باران توسط هادسون<sup>۷</sup> (۱۹۷۱) و ویشمایر و اسمیت<sup>۸</sup> (۱۹۷۸) به‌عنوان یک اثر متقابل بین انرژی جنبشی باران و سطح خاک توصیف شده است. در واقع این عامل برای محاسبه توانایی باران در فرسایش خاک در شرایط مختلف به کار گرفته شده است و یکی از ۶ عاملی است که در معادلات برآورد هدر رفت خاک (USLE و RUSLE) استفاده می‌شود (هتو و لی، ۲۰۱۱: ۳۲).

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلاتی است که امروزه با آن مواجه هستیم (رضائی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۹). به‌طوری‌که در دهه اخیر اهمیت مسائل فرسایش خاک و عوامل فرساینده باران دوچندان شده است. در این زمینه سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور سالانه حدود ۱۵۰ میلیون دلار در راستای پروژه‌های آبخیزداری به‌منظور جلوگیری یا کاهش بخشی از فرسایش خاک و مشکلات مرتبط با آن هزینه می‌کند (صادقی و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۵۱). به همین دلیل، لزوم توجه به مسائل فرسایش و عوامل تأثیرگذار بر آن از جمله عوامل اقلیمی را بیش‌ازپیش می‌طلبد. این امر ناشی از این است که فرساینده باران نه‌تنها به‌عنوان یک عامل ورودی در مدل‌سازی فرسایش خاک به کار گرفته می‌شود بلکه به‌عنوان عاملی مهم در مدل‌سازی سایر فرآیندهای مدیریتی منابع آب و خاک مانند ترسیب رسوب، کیفیت آب و دیگر موارد نیز کاربرد دارد (هتو و لی، ۲۰۱۱: ۳۲). بنابراین برآورد دقیقی از فرساینده باران می‌تواند به بهبود دقت مدل‌سازی‌ها کمک نماید (رنارد<sup>۹</sup> و همکاران، ۱۹۹۷: ۲۸۷). هم‌چنین فرساینده باران یک پارامتر کلیدی در ارزیابی ریسک فرسایش خاک تحت شرایط آینده کاربری اراضی و تغییر اقلیم است (موسبرگر<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۶۷).

روش اصلی برای محاسبه فرساینده یک واقعه بارش باران، نیازمند داده‌های ثبت‌شده توسط باران‌نگارها می‌باشد (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸؛ مورگان<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۴). دسترسی به این‌گونه اطلاعات در بسیاری مناطق دنیا بسیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و دشوار می‌باشد (صادقی و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۵۳؛ هتو و لی، ۲۰۱۱: ۳۳). این در حالی است که فرمول‌های دیگری نیز به وجود آمده که می‌توانند با دقت خوبی مقادیر ماهانه یا سالانه میزان فرساینده باران را با استفاده از داده-

<sup>1</sup> Sadeghi

<sup>2</sup> Heo and Lee

<sup>3</sup> Sadeghi and Hazbavi

<sup>4</sup> Ludwig

<sup>5</sup> Petkovesk and Mikos

<sup>6</sup> Asadi

<sup>7</sup> Hudson

<sup>8</sup> Wischmeier and Smith

<sup>9</sup> Renard

<sup>10</sup> Meusburger

<sup>11</sup> Morgan

های سهل‌الوصول برآورد نمایند (برتونی و لمباردی‌نتو<sup>۱</sup>؛ ۱۹۹۰: ۱۲۱؛ رنارد و فریموند<sup>۲</sup>، ۱۹۹۴: ۲۸۹). روش‌های تخمین‌گر مبتنی بر داده‌های بارش سالانه نمونه خوبی از مدل‌های آسان هستند زیرا که دسترسی به داده‌های بارش سالانه نسبتاً راحت و قابل‌اعتماد می‌باشد (هتو و لی، ۲۰۱۱: ۳۳). فرمول فورنیه از جمله فرمول‌هایی است که این خصوصیت را دارا هستند و به‌طور بسیار گسترده‌ای برای همین منظور مورداستفاده می‌گیرد. فرمول فورنیه به‌صورت  $Cc = \frac{Mx^2}{P}$  ارائه شده است. در این فرمول  $Cc$  برابر با مقدار شاخص فورنیه،  $M$  معرف میزان بارندگی ماهانه برحسب میلی-متر در ماه  $x$  و  $P$  معرف متوسط بارش سالانه به میلی‌متر می‌باشد. طی تحقیقات متعددی روابط معناداری بین شاخص فورنیه و مقدار سالانه فرساینده‌گی باران گزارش شده است (برتونی و لمباردی‌نتو، ۱۹۹۰: ۱۱۵؛ اودورو-آفری<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶؛ داسیلوا<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴: ۲۵۹). در این‌گونه مطالعات بسته به شرایط حاکم بر منطقه مطالعاتی ممکن است استفاده از آمار ۲۰ ساله و یا حتی آمار ۱۰ ساله نیز مطلوب و ایده‌آل باشد (داسیلوا، ۲۰۰۴: ۲۵۶). مروری بر مطالعات صورت گرفته در ارتباط با فرساینده‌گی باران نشان می‌دهد که برای مطالعه فرساینده‌گی باران شاخص  $EI_{30}$  از بیش‌ترین مقبولیت جهانی برای این منظور برخوردار است. این در حالی است که با توجه به محدودیت‌های حاکم بر این روش، شاخص‌های سهل‌الوصول به‌صورت بسیار گسترده‌ای به‌ویژه در مناطقی که با کمبود داده‌ها روبرو هستند؛ مورداستفاده قرار گرفته‌اند (رضائی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۰). در این میان می‌توان به منائرتس و گابریلز<sup>۵</sup> (۲۰۰۰) اشاره نمود که با استفاده از داده‌های ۷ ساله ایستگاه‌های باران سنجی، فرساینده‌گی باران را برای جزیره کیپ‌ورده<sup>۶</sup> در آفریقا به دست آوردند. واندرنیف<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۰) طی تحقیقی بیان داشتند که مقادیر متوسط فرساینده‌گی بلندمدت اغلب با مقادیر در دسترس تر بارندگی مانند بارش سالانه یا شاخص اصلاح‌شده‌ی فورنیه همبستگی بالایی دارند. بر این اساس ایشان اقدام به تهیه نقشه فرساینده‌گی ماهانه، فصلی و سالانه برای کل اروپا نمودند. هو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۰) نقشه فرساینده‌گی برای کشور کره جنوبی را به دست آوردند. آن‌ها دریافته‌اند که حداکثر مقادیر فرساینده‌گی در قسمت‌های شرقی و حداقل آن در قسمت‌های ساحلی منطقه مورد مطالعه به دست آمد. پوش و رکولاینن<sup>۹</sup> (۲۰۰۳) طی مطالعه فرساینده‌گی باران کشور فنلاند دریافته‌اند که تغییرات زمانی فرساینده‌گی بسیار بیش‌تر از تغییرات مکانی فرساینده‌گی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در ترکیه نیز بررسی زمانی و مکانی فرساینده‌گی باران که توسط اسلان<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۵) صورت گرفت، بیانگر تغییرات فرساینده‌گی بین نواحی مرکزی و شمال شرقی ترکیه می‌باشد.

پس از محاسبه میزان فرساینده‌گی باران برای یک منطقه می‌توان نقشه‌های فرساینده‌گی را با استفاده از روش‌های میان-یابی و با به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به دست آورد. در این زمینه ویشمایر و اسمیت در سال ۱۹۷۸ اقدام به تهیه نقشه‌های هم‌فرساینده برای ایالات متحده آمریکا نمودند. بین<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات مکانی فرساینده‌گی غرب چین را مورد بررسی قرار داده و تغییرات فضایی فرساینده‌گی را به‌صورت نقشه‌های هم‌فرساینده ارائه نمودند. صادقی و همکاران (۲۰۱۱) نیز با استفاده از داده‌های ۲۳ ساله مربوط به ۱۸ ایستگاه، فرساینده‌گی باران کل کشور ایران را محاسبه نمودند و دریافته‌اند حداکثر شدت فرساینده‌گی مربوط به قسمت‌های شمالی و حداقل آن مربوط به قسمت‌های مرکزی و جنوبی کشور ایران است. از دیگر مطالعات می‌توان به هو و همکاران (۲۰۰۰) برای کشور کره، داسیلوا

<sup>1</sup> Bertoni and Lombardi Neto

<sup>2</sup> Renard and Freimund

<sup>3</sup> Oduro-Afriyie

<sup>4</sup> DaSilva

<sup>5</sup> Mannaerts and Gabriels

<sup>6</sup> Cape Verde

<sup>7</sup> Vanderknif

<sup>8</sup> Hu

<sup>9</sup> Posch and Rekolainen

<sup>10</sup> Aslan

<sup>11</sup> Yin

(۲۰۰۴) برای کشور برزیل، بهزادفر<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۹) در ایران، و هئو و لی (۲۰۱۱) برای کشور کره جنوبی نیز اشاره نمود که از فناوری GIS برای دستیابی به نقشه‌های هم‌فرساینده کشور استفاده نمودند. مرور منابع داخلی نیز نشان می‌دهد که عامل فرساینده‌گی و توزیع زمانی و مکانی آن مورد توجه بسیاری محققان قرار گرفته است. در این زمینه می‌توان به تحقیق احمدی و همکاران (۱۳۹۳) در استان قزوین اشاره نمود. ایشان اقدام به تهیه پهنه‌های فرساینده‌گی استان نمودند و دریافتند که حداکثر شدت فرساینده‌گی مربوط به قسمت‌های شمالی استان و به صورت لکه‌های نامتناجس در قسمت‌های جنوبی است. ایشان نهایتاً الگوی توزیع بارندگی و توپوگرافی را از دلایل نتایج اخیر برشمردند. رضائی و همکاران (۱۳۹۳) از شاخص فورنیه اصلاح شده برای برآورد مقدار فرساینده‌گی باران مدل RUSLE در حوزه گابریک استان هرمزگان استفاده کردند. ایشان در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی برای برآورد مقدار فرساینده‌گی در مناطق فاقد ایستگاه باران‌سنجی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مقدار R برآورد شده در حوزه مورد مطالعه دارای تغییرات زیادی است و این مقدار به سمت جنوب و مرکز حوزه دارای روند کاهشی است. از دیگر مطالعات داخلی می‌توان به حکیم‌خانی و همکاران (۱۳۸۶)، بهزادفر و همکاران (۱۳۸۸)، علی‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲)، ترابیان‌مقدم و همکاران (۱۳۹۳) و اسلامی و همکاران (۱۳۹۳) اشاره نمود.

از آنجائی که فرسایش خاک در کشورهای در حال توسعه روند افزایشی دارد (رضائی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۱)؛ دستیابی به این‌گونه نقشه‌ها می‌تواند اطلاعات مؤثری در مورد فرسایش خاک یک منطقه ارائه نماید. از این‌رو مطالعه و اندازه‌گیری الگوی توزیع فرساینده‌گی باران و تأثیر احتمالی آن بر تغییرات فرسایش خاک بسیار مهم بوده و از اطلاعات قابل استخراج از نقشه‌های فرساینده‌گی می‌توان برای اقدامات حفاظت خاک و کشاورزی، به منظور آگاه‌سازی از پتانسیل فرساینده‌گی باران و همچنین برای تجویز اقدامات محتاطانه در راستای به حداقل رساندن اثرات و پیامدهای ناشی از فرسایش خاک در مناطق مختلف استفاده نمود (داسیلوا، ۲۰۰۴: ۲۵۴). از این‌رو بر اساس مقوله فوق‌الذکر هدف از مطالعه حاضر تهیه نقشه‌های هم‌فرساینده‌گی استان هرمزگان و مطالعه برخی خصوصیات زمانی و مکانی آن در این منطقه می‌باشد. با توجه به کاربرد وسیع مدل فورنیه اصلاح شده (شمشاد<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸، داسیلوا و همکاران ۲۰۰۴، اونچف<sup>۳</sup> ۱۹۸۴، فرو<sup>۴</sup>، ۱۹۹۹؛ هئو و لی، ۲۰۱۱؛ حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ حکیم‌خانی و حکیم‌خانی، ۱۳۸۹؛ احمدی و همکاران ۱۳۹۳) به خصوص برای مناطق دارای محدودیت برای دسترسی به آمار باران‌نگار از یک‌سو، و دقت و کارایی قابل قبول این مدل برای برآورد مقدار فرساینده‌گی باران در این‌گونه مناطق از سویی دیگر (هئو و لی، ۲۰۱۱)؛ مدل فورنیه اصلاح شده جهت برآورد مقدار فرساینده‌گی باران استان هرمزگان انتخاب شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

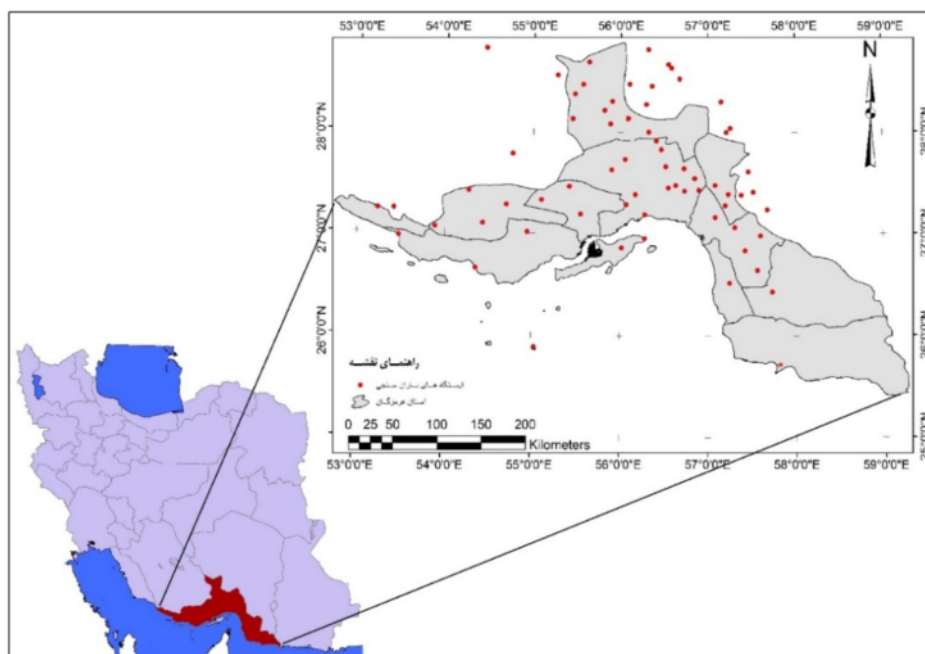
محدوده‌ی مورد مطالعه در تحقیق حاضر، استان هرمزگان می‌باشد که به لحاظ موقعیت جغرافیایی ۲۵° ۲۵' تا ۲۷° ۱۸' عرض شمالی و ۳۹' ۵۲° تا ۱۴' ۵۹° طول شرقی در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان قرار دارد. در این تحقیق داده‌های ماهیانه و سالانه مربوط به ۶۷ ایستگاه باران‌سنجی در اطراف و درون محدوده استان هرمزگان در دوره مشترک آماری ۲۱ ساله (۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۸۷-۱۳۸۸) بررسی شده است. شکل (۱) موقعیت مکانی استان هرمزگان را به همراه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Behzadfar

<sup>2</sup> Shamsad

<sup>3</sup> Onchev

<sup>4</sup> Ferro



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

## روش کار

محاسبه شاخص  $EI_{30}$  مستلزم وجود آمار شدت بارندگی است. این آمار تنها در ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار تهیه می‌شوند. متأسفانه چنین آماری در بیش‌تر ایستگاه‌های هواشناسی کشور و از جمله در استان هرمزگان تهیه و پرداخته نمی‌شوند (رضائی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۱). بنابراین برای فائق آمدن بر مشکل اخیر روش‌ها و شاخص‌های سهل‌الوصول پیشنهاد شده‌اند. در این بین شاخص فورنیه‌ی اصلاح شده از کاربرد و دقت بالایی برخوردار می‌باشد که به همین دلیل توسط پژوهشگران متعددی مورد پژوهش و تحقیق قرار گرفت (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳، رضائی و همکاران، ۱۳۹۳). فورنیه با استفاده از داده‌های ۷۸ حوزه آبخیز دو روش مختلف برای برآورد رسوب ارائه داده است. در معادلات ارائه شده توسط فورنیه رابطه‌ی مستقیمی بین میانگین سالانه تولید رسوب و نسبت  $\frac{P^2}{P}$  یافت شد. این نسبت اقلیمی تحت عنوان شاخص فورنیه شناخته شده و به عنوان شاخص فرسایش باران مورد استفاده قرار می‌گیرد (فورنیه<sup>۱</sup>، ۱۹۵۶). شاخص فورنیه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F = \frac{P_i^2}{P} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن،  $P_i$  حداکثر بارندگی ماهانه (بارش مرطوب‌ترین ماه سال) و  $P$  متوسط بارندگی سالانه می‌باشد. در ادامه شاخص فورنیه به شکل رابطه ۲ اصلاح شده و تحت عنوان شاخص فورنیه اصلاح شده مورد استفاده گسترده‌ای در بین شاخص‌های سهل‌الوصول قرار گرفت.

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن؛  $P_i$  بارندگی ماه  $i$ ام؛  $P$  متوسط بارندگی سالانه در طول دوره آماری و  $MF$  شاخص فورنیه اصلاح شده می‌باشد. با استفاده از این روش برای هر سال یک شاخص حساب شده و سپس از آن‌ها میانگین گرفته می‌شود. به طوری که مجذور بارندگی هر ماه در هر سال محاسبه شده و با تقسیم مجموع آن‌ها به بارندگی همان سال، مقدار شاخص فورنیه سال

<sup>1</sup> Fournier

یادشده به دست آمد. برای به دست آوردن شاخص متوسط ایستگاه‌ها از مقادیر شاخص‌های یادشده در طول دوره آماری میانگین گرفته شد. در ادامه از رابطه‌هایی که رنارد و فریموند (۱۹۹۴) برای برآورد مقدار R با استفاده از مقادیر محاسبه‌شده شاخص فورنیه اصلاح شده پیشنهاد دادند، جهت برآورد قدرت فرساینده‌گی باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شده است.

$$\text{رابطه (۳)} \\ R=0.7397MFI^{1.847} \\ \text{MFI}<55 \text{ mm}$$

$$\text{رابطه (۴)} \\ R=95.77 - 6.081MFI + 0.4770MFI^2 \\ \text{MFI} \geq 55 \text{ mm}$$

### میان‌یابی داده‌های نقطه‌ای با استفاده روش‌های زمین‌آمار

مقادیر شاخص فورنیه در این تحقیق برای هر ایستگاه به صورت مجزا و نقطه‌ای به دست آمده است. بنابراین برای تبدیل مقادیر برآورد شده شاخص فورنیه به سطوح نقشه از امکانات نرم‌افزارهای GS<sup>+</sup> و ArcGIS و با استفاده از روش‌های میان‌یابی استفاده شده است (جانستون<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱).

### تعیین ساختار فضایی (واریوگرام)

برای بررسی ساختار مکانی بارش فصلی و سالانه، مقادیر تغییرنمای تجربی با استفاده از نرم افزار GS<sup>+</sup> ترسیم شد و سپس یک مدل مناسب مکانی با توجه به معیار مجموع مربعات کاهش یافته<sup>۲</sup> (RSS) بین داده‌ها از بین چهار ساختار فضایی کروی، نمایی، خطی و گوسی انتخاب شد. در این میان بهترین مدل انتخابی، مدلی است که دارای مجموع مربعات باقیمانده (RSS) کمتری باشد. به عبارت دیگر، جهت تعیین مقادیر نقطه‌ای قدرت فرساینده‌گی باران (عامل R)، ابتدا با استفاده از رابطه ۲ مقدار MFI برای هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی برآورد گردید. سپس برای تبدیل مقادیر MFI به R، از رابطه‌های ۳ و ۴ استفاده شده است. بعد از تهیه این مقادیر نقطه‌ای، به منظور برآورد مقادیر این کمیت در نقاط فاقد آمار و باهدف تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به نقشه‌های پهنه‌بندی از روش‌های مبتنی بر زمین‌آمار استفاده شده است. برای استفاده از این روش‌ها بررسی نرمال بودن داده‌ها و وجود ساختار مکانی بین داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. ساختار مکانی داده‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل تغییرنما صورت می‌گیرد که شرط استفاده از این روش، نرمال بودن داده‌های متغیر مورد نظر می‌باشد.

### میان‌یابی<sup>۳</sup>

با تعیین بهترین ساختار فضایی و پارامترهای مربوط به آن در مرحله قبل، با استفاده از روش‌های کریجینگ و عکس فاصله با توان‌های مختلف (یک تا سه) با استفاده از نرم‌افزارهای GS<sup>+</sup> و ArcGIS میان‌یابی بارش در مقیاس فصلی و سالانه انجام شد.

<sup>۱</sup> Johnston

<sup>۲</sup> Reduced Sums of Squares

<sup>۳</sup> Interpolation

## روش و معیار ارزیابی

به منظور ارزیابی روش‌های مورد بررسی در این مطالعه از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی استفاده شده است که نحوه‌ی محاسبه آن‌ها در رابطه‌های ۵ و ۶ آمده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{Q})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{Q})^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که؛  $P_i$  مقدار برآورد شده در نقطه‌ی  $i$ ،  $O_i$  مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه‌ی  $i$ ،  $\bar{Q}$  میانگین مقادیر مشاهده‌ای برای نقطه‌ی  $i$ ،  $i$  شماره نقاط و  $n$ : تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشد.

## نتایج

بررسی داده‌های بارش نشان می‌دهد که میانگین بارش سالانه منطقه مورد مطالعه طی دوره مشترک آماری (۲۱ سال)، ۲/۲۱۲ میلی‌متر می‌باشد. توزیع بارندگی در استان هرمزگان دارای تغییرات زیادی است. به طوری که در یک نگاه کلی، میزان بارش به تدریج از قسمت‌های شرقی استان شروع به افزایش نموده و در شهرستان‌های میناب و رودان به حداکثر رسیده و سپس سیر نزولی در میزان بارش منطقه را به سمت قسمت‌های غربی استان را شاهد می‌باشیم. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه ایستگاه‌های واقع در قسمت شمال شرقی و شرقی استان که شامل شهرستان‌های رودان و میناب می‌باشند حداکثر و ایستگاه‌های عمدتاً ساحلی و متمایل به قسمت‌های غربی استان حداقل میزان بارش را به خود اختصاص دادند. این قاعده مطلق نبوده و وجود ایستگاه‌های نامتجانس در بین ایستگاه‌های بخش‌های مختلف منطقه که در نقشه‌های پهنه‌بندی به صورت لکه‌های چشم‌گاو مشخص شده، مشهود می‌باشد. الگوی تغییرات مکانی بارندگی استان هرمزگان در شکل ۲ ارائه شده است. طی دوره مورد بررسی ایستگاه‌های ده‌شیخ و پاپر پشتکو با متوسط بارش سالانه ۲۴/۱۰۰ و ۷۹/۴۰۹ میلی‌متر به ترتیب حائز کمترین و بیشترین مقدار متوسط بارش سالانه منطقه می‌باشند. در پژوهش حاضر قدرت فرساینده‌ی باران منطقه، پس از تهیه و تکمیل داده‌های بارندگی منطقه مورد مطالعه در مرحله قبل و با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده به دست آمد. بررسی قدرت فرساینده‌ی باران استان هرمزگان نشان می‌دهد که الگوی توزیع فرساینده‌ی به صورت چشمگیری متأثر از میزان متوسط بارش منطقه می‌باشد. به طوری که مقادیر حادی فرساینده‌ی و متوسط بارش در این منطقه بر هم منطبق بوده و الگوی رفتاری تقریباً یکسانی را از خود نشان می‌دهند. جدول ۱ مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها، میزان متوسط بارندگی طی دوره آماری سال آبی ۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۸۹-۱۳۸۸ و میزان قدرت فرساینده‌ی باران برای هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خصوصیات ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	بارش	میزان MFI	فرساینده‌گی (MJ mm <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )
ابوموسی	۳۰.۲۷۲۲/۶	۲۸۶۴۹۵۲/۰	۵	۱۳۲/۱۳	۵۵/۸۲	۷۱/۸۳
باغو	۴۶۸۲۵۶/۷	۳۱۵۵۷۷۳/۷	۱۵۰۰	۱۹۶/۹۴	۵۷/۶۹	۷۷/۰۲
بجگان	۵۴۵۸۲۷/۱	۳۰۵۴۵۷۹/۷	۴۸۰	۲۱۳/۷۱	۷۶/۲۰	۱۳۸/۸۵
برنطین	۵۱۹۷۹۳/۱	۳۰۱۷۸۳۳/۵	۱۴۰	۲۳۸/۱۲	۸۵/۳۶	۱۷۶/۴۲
بلبل آباد	۵۵۱۱۸۱/۸	۳۰۳۲۵۳۸/۹	۳۲۰	۱۸۹/۳۵	۷۳/۸۹	۱۳۰/۱۰
بندر حسینه	۲۳۶۹۷۸/۲	۲۹۵۱۲۲۳/۷	۸	۱۴۰/۴۰	۶۵/۹۴	۱۰۲/۲۴
بندر عباس	۴۲۸۷۱۳/۷	۳۰۰۷۹۹۲/۱	۱۰	۱۶۲/۴۵	۵۹/۱۲	۸۱/۱۳
بندر مقام	۷۴۶۰۳۲/۰	۲۹۸۵۲۴۹/۹	۸	۱۶۴/۹۱	۶۳/۴۴	۹۴/۲۱
پاپر پشتکوه	۴۷۳۰۹۳/۱	۳۰۵۸۲۴۶/۴	۴۰۰	۴۰۹/۷۹	۱۲۴/۱۴	۳۸۶/۷۸
تخت	۴۶۳۷۷۷/۸	۳۰۴۰۰۲۴/۲	۴۰	۲۱۰/۶۸	۷۰/۹۸	۱۱۹/۵۱
تدرویه	۲۷۲۳۴۴/۱	۳۰۱۹۹۱۲/۹	۳۸۰	۲۰۰/۵۹	۶۴/۹۵	۹۹/۰۲
تنگ دالان	۳۱۲۱۱۴/۹	۳۰۲۴۹۳۹/۹	۲۴۰	۱۸۱/۱۶	۲۲/۱۲۳	۴۴/۳۷۹
تنگ قوچان	۳۶۶۵۶۵/۴	۳۱۷۴۳۴۳/۱	۱۶۳۰	۱۵۱/۵۰	۴۴/۹۳	۴۵/۴۰
توتنگ هماگ	۴۴۱۸۹۰/۹	۳۰۸۸۳۲۶/۸	۱۳۸۰	۳۸۰/۱۹	۱۱۲/۱۵	۳۱۲/۸۸
توربان قشم	۴۰۲۳۲۰/۷	۲۹۷۲۰۴۶/۳	۲۰	۱۴۷/۳۰	۵۹/۸۷	۸۳/۳۲
جاسک	۲۸۳۸۴۸۶/۰	۵۷۹۶۷۸/۰	۵	۳۲/۱۱۶	۹۰/۳۷	۸۳/۳۱
جگدان	۵۷۳۱۲۰/۲	۲۹۲۳۸۸۲/۵	۹۱۰	۲۸۶/۱۲	۶۰/۴۹	۸۵/۱۷
چاه خرگ	۴۸۹۹۵۲/۲	۳۰۳۴۶۵۱/۹	۴۹	۲۱۷/۴۴	۷۶/۲۸	۱۳۹/۱۵
چاه عالی	۴۷۳۷۲۵/۵	۳۰۳۳۷۲۲/۰	۳۰	۱۵۰/۳۳	۵۴/۷۷	۶۹/۰۰
حاجی آباد	۳۹۲۵۰۲/۲	۳۱۳۱۵۳۸/۸	۱۰۴۰	۲۱۲/۷۸	۶۴/۳۴	۹۷/۰۶
خبر (فخر آباد)	۴۳۳۳۲۵/۴	۳۱۸۷۸۶۵/۸	۲۰۰۰	۳۴۹/۱۷	۹۱/۷۰	۲۰۵/۱۳
خراجی	۵۲۳۱۷۸/۸	۳۰۳۰۱۴۶/۶	۱۹۰	۲۳۱/۱۴	۷۷/۰۴	۱۴۲/۰۹
خشت	۷۳۹۴۲۰/۶	۳۰۱۴۸۰۷/۶	۴۰۰	۲۲۰/۴۳	۷۹/۹۶	۱۵۳/۷۱
دراشکفت	۳۸۳۸۸۰/۶	۳۱۲۱۷۷۱/۰	۲۱۰	۲۰۴/۹۲	۱۱۲/۹۱	۳۱۷/۳۶
درپهن	۵۵۶۲۳۱/۱	۲۹۴۷۴۵۶/۴	۴۷۰	۲۱۱/۱۲	۶۲/۳۶	۹۰/۸۵
دره شور	۵۲۵۳۳۵/۴	۳۱۰۱۹۶۷/۹	۶۴۰	۱۵۴/۵۲	۵۰/۰۳	۵۶/۹۵
ده شیخ	۴۳۰۸۰۶/۳	۳۱۲۸۲۶۸/۰	۹۳۰	۱۰۰/۲۴	۰۰/۴۰	۵۹/۳۵
دهستان بالا	۳۵۹۷۰۷/۵	۳۱۵۰۱۹۷/۳	۱۳۸۰	۲۱۳/۵۴	۵۵/۳۸	۷۰/۶۲
دهسرد	۴۵۵۹۲۲/۸	۳۱۷۱۵۳۹/۴	۱۷۸۰	۲۳۲/۸۶	۷۰/۲۰	۱۱۶/۷۴
رویدر	۳۴۳۵۵۱/۴	۳۰۳۹۱۲۱/۸	۳۶۰	۲۱۱/۵۲	۶۹/۵۲	۱۱۴/۳۵
زهمکان	۵۱۴۹۲۴/۹	۳۱۳۰۷۲۲/۰	۱۳۰۰	۱۸۳/۷۰	۵۳/۰۳	۶۴/۴۳



۴۱۴/۲۱	۱۲۸/۲۹	۲۰۴/۹۹	۴۰	۳۰۰۴۸۹۸/۱	۵۰۸۲۵۵/۷	سد استقلال
۷۴/۴۲	۵۶/۷۶	۱۹۳/۹۵	۶۸۰	۳۱۰۶۹۳۷/۰	۳۹۰۲۸۷/۲	سرچاهان
۲۲۲/۰۸	۹۵/۲۲	۲۵۷/۶۸	۴۰۰	۳۰۶۰۳۷۱/۶	۴۵۲۳۳۱/۷	سرخا
۱۰۲/۳۸	۶۵/۹۸	۱۹۲/۹۰	۵۶۰	۳۰۱۳۴۱۵/۶	۵۶۷۲۱۲/۳	سرگرو
۱۲۹/۷۰	۷۳/۷۸	۲۱۲/۴۸	۲۳۵	۲۹۹۴۰۷۲/۲	۵۳۰۶۲۷/۹	سرنی
۱۲۶/۷۲	۷۲/۹۸	۲۰۶/۴۲	۲۱۰	۲۹۶۸۸۴۵/۶	۵۴۲۰۳۲/۸	سندرک
۲۱۵/۹۸	۹۳/۹۷	۳۱۹/۰۸	۹۰۰	۳۰۷۸۸۵۴/۲	۴۴۷۴۸۰/۴	سیخوران
۵۲/۹۱	۴۸/۳۱	۱۴۴/۰۵	۱۰۴۰	۳۱۴۷۸۹۷/۰	۴۳۷۲۵۸/۲	شاهماران
۱۳۵/۳۸	۷۵/۲۹	۲۳۰/۱۵	۸۴۰	۳۱۱۳۱۰۸/۵	۴۱۰۴۷۷/۱	شمیل جائین
۲۱۱/۴۳	۹۳/۰۲	۳۵۸/۱۳	۱۷۶۰	۳۱۱۲۶۴۸/۳	۴۱۰۲۸۲/۷	شیخ عالی
۷۴/۱۸	۵۶/۶۸	۱۸۸/۸۹	۷۰۰	۳۱۱۲۹۴۳/۶	۳۴۷۷۷۷/۷	طاشکوییه
۱۴۵/۳۰	۷۷/۸۶	۳۱۳/۷۸	۲۵۰۰	۳۱۶۲۰۱۷/۰	۴۸۵۹۸۴/۷	عمروddیه سیوین
۲۴۱/۵۸	۹۹/۱۲	۲۶۰/۶۸	۳۰۰	۳۰۳۹۹۷۳/۵	۵۰۸۲۳۲/۳	فاریاب
۱۵۵/۵۰	۸۰/۴۰	۱۶۹/۰۷	۵۰۰	۳۰۳۵۷۶۴/۸	۲۳۰۰۶۶/۰	فاریاب سنگوئیه
۹۶/۲۱	۶۴/۰۷	۱۸۴/۶۷	۶۰۰	۳۰۶۸۲۶۶/۸	۴۰۶۸۲۹/۶	فاریاب گهره
۱۰۳/۸۵	۶۶/۴۳	۱۹۷/۷۳	۳۳۰	۳۰۵۷۰۶۹/۱	۳۹۱۴۷۷/۵	فین
۹۳/۳۱	۶۳/۱۵	۱۶۰/۵۶	۸	۲۹۸۲۱۷۸/۲	۴۲۸۴۵۵/۸	قشم
۷۲/۶۵	۵۶/۱۲	۱۴۶/۸۳	۷۰	۳۰۱۹۰۸۵/۰	۴۰۷۷۱۹/۳	قلات پایین
۹۵/۵۱	۶۳/۸۵	۱۸۲/۰۷	۶۰	۳۰۳۷۱۵۹/۵	۴۵۵۳۹۷/۶	قلعه قاضی
۸۶/۴۹	۶۰/۹۳	۲۲۶/۷۸	۱۶۴۰	۳۱۶۷۶۸۰/۴	۴۵۹۲۴۷/۸	قنات قاضی
۱۷۴/۷۲	۸۴/۹۷	۲۶۱/۰۹	۳۴۰	۲۹۹۶۲۷۶/۶	۷۸۶۵۴۳/۲	کمشک
۱۱۳/۱۱	۶۹/۱۶	۱۶۳/۶۶	۱۴۰	۲۹۹۰۱۰۵/۵	۲۹۵۵۶۸/۲	کوردان
۲۲۸/۳۸	۹۶/۵۰	۳۰۲/۶۲	۱۶۰۰	۳۰۳۰۱۲۱/۴	۴۱۷۹۳۷/۱	کوه گنو
۷۲/۳۵	۵۶/۰۱	۲۰۷/۳۲	۶۳۵	۳۰۷۵۳۲۳/۹	۲۷۹۹۷۳/۳	کهنه علی آباد
۸۳/۷۴	۶۰/۰۱	۱۶۵/۹۷	۴۰	۳۰۰۸۹۸۹/۳	۳۵۶۲۱۴/۳	کهورستان
۱۰۷/۷۰	۶۷/۵۸	۲۱۰/۴۶	۵۷	۳۰۱۴۲۵۲/۶	۷۲۱۱۵۴/۲	گاویندی - میلکی
۶۳/۰۷	۵۲/۵۰	۱۶۸/۲۳	۵۶۰	۳۰۹۷۴۹۷/۶	۵۲۰۹۷۵/۰	گلاشکرد
۹۰/۶۵	۶۲/۳۰	۲۲۶/۷۸	۱۲۹۰	۳۱۹۰۳۴۴/۵	۲۵۱۱۴۸/۹	گوزون
۹۹/۳۸	۶۵/۰۶	۲۲۴/۷۱	۱۵۴۰	۳۱۳۹۷۵۲/۰	۳۵۰۴۸۹/۸	گیس
۱۰۵/۸۶	۶۷/۰۳	۲۲۸/۶۶	۶۶۰	۲۹۸۵۰۳۹/۴	۵۵۹۷۵۷/۶	مشکالدین
۱۵۲/۲۸	۷۹/۶۱	۲۳۶/۷۹	۸۰۰	۳۰۲۹۲۵۹/۳	۵۳۷۶۵۴/۷	معدن آسمینون
۱۱۱/۱۲	۶۸/۵۸	۱۸۹/۳۴	۴۵	۲۹۳۳۳۵۸/۲	۵۲۴۷۶۹/۸	مهمانی
۸۵/۴۴	۶۰/۵۸	۲۰۱/۷۷	۱۱۶۰	۳۰۹۸۰۳۴/۶	۴۳۳۱۹۸/۰	میمند

۷۱/۴۸	۵۵/۶۹	۲۰۳/۳۲	۱۸۰۰	۳۱۶۰۳۰۰/۰	۳۳۱۲۳۵/۲	نارکوه
۱۵۱/۱۲	۷۹/۳۲	۲۷۲/۷۷	۵۱	۳۰۴۷۳۶۴/۲	۴۸۵۱۹۰/۸	نیان
۵۱/۹۸	۴۷/۹۱	۱۷۶/۹۳	۱۰۸۰	۳۱۵۰۲۷۳/۲	۴۱۲۱۹۸/۸	وکیل آباد
۱۱۹/۷۵	۷۱/۰۵	۲۲۱/۸۶	۳۰۰	۳۰۰۰۱۰۸/۹	۲۴۵۵۲۳/۲	هرنگ

نتایج بررسی نرمال بودن داده‌های مورد استفاده در این تحقیق با توجه به مقدار P و آماره آزمون کلموگراف-اسمیرنوف، نشان داد که داده‌های مورد استفاده‌ی تحقیق دارای توزیع نرمال نمی‌باشند. از این رو از طریق تبدیل متعارف لگاریتم‌گیری، مجموعه داده‌های تحقیق به توزیع نرمال نزدیک شد. نتایج آزمون کلموگراف-اسمیرنوف و تجزیه و تحلیل تغییرنا در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه گردید.

جدول ۲: بررسی نرمال بودن مقادیر عامل فرساینده‌ی باران، قبل و بعد از تبدیل لگاریتمی

مقدار آماره آزمون (Z)	مقدار -P	انحراف- معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	قدرت فرساینده‌ی باران
۱۸۵/۰	۰۰۰/۰	۴۳/۸۱	۷/۱۲۹	۲/۴۱۴	۸/۳۱	قبل از تبدیل
۰۸۱/۰	۲۰۱/۰	۲۳/۰	۰۴/۲	۶۲/۲	۵/۱	بعد از تبدیل

جدول ۳: نتایج تجزیه و تحلیل تغییرنا

RSS	شعاع تاثیر (km)	$\frac{C}{Co + C}$	حد آستانه (Co+C)	اثر قطعه‌ای (Co)	مدل	متغیر	ردیف
۰/۰۲۴۱	۱۰	۰/۵	۰/۵۹	۰/۲۹۵	کروی	فصل فرساینده‌ی باران	۱
۰/۰۲۲۱	۳۰	۰/۵	۰/۶۰	۰/۲۹۹	نمایی		۲
۰/۰۱۸۷	۷۹/۵	۰/۰۰	۳۱/۰	۰/۳۰۷	خطی		۳
۰/۰۱۸۹	۸۳	۰/۵	۰/۶۱	۰/۳۰۶	گوسی		۴

بنابراین با توجه به مقادیر مربوط به RSS، مدل واریوگرام خطی که به صورت مطلوب‌تری همبستگی مکانی بین داده‌ها را نشان می‌دهد، برای برآزش بر داده‌های تحقیق، انتخاب شد. شکل ۲ واریوگرام خطی برآزش یافته بر داده‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: واریوگرام برازش‌یافته بر متغیر قدرت فرساینده‌گی باران

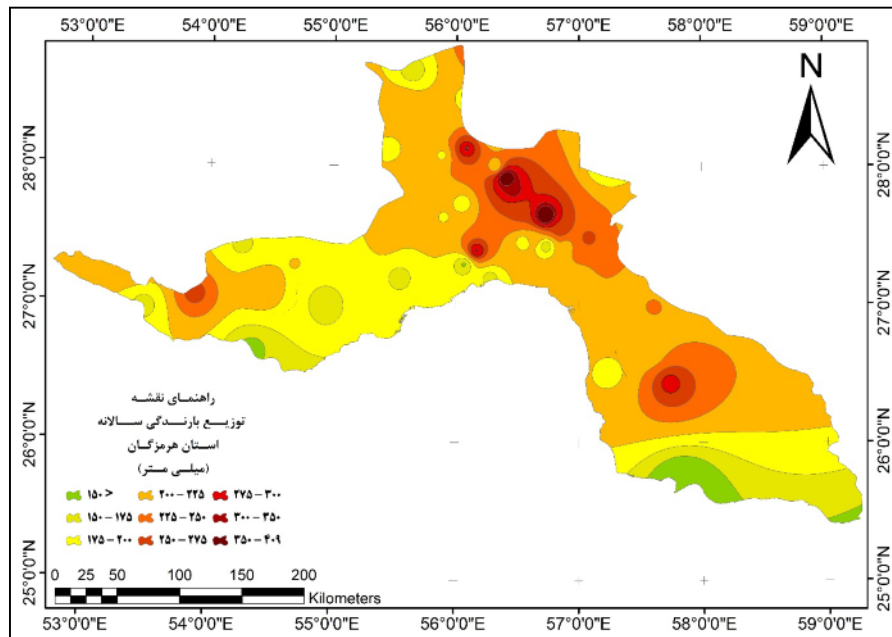
نتایج ارزیابی دقت روش‌های تخمین‌گر زمین‌آماري با استفاده از مقادیر محاسباتی کمیت فرساینده‌گی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط روش‌های میان‌یابی در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: نتایج ارزیابی مدل تخمین میزان فرساینده‌گی باران

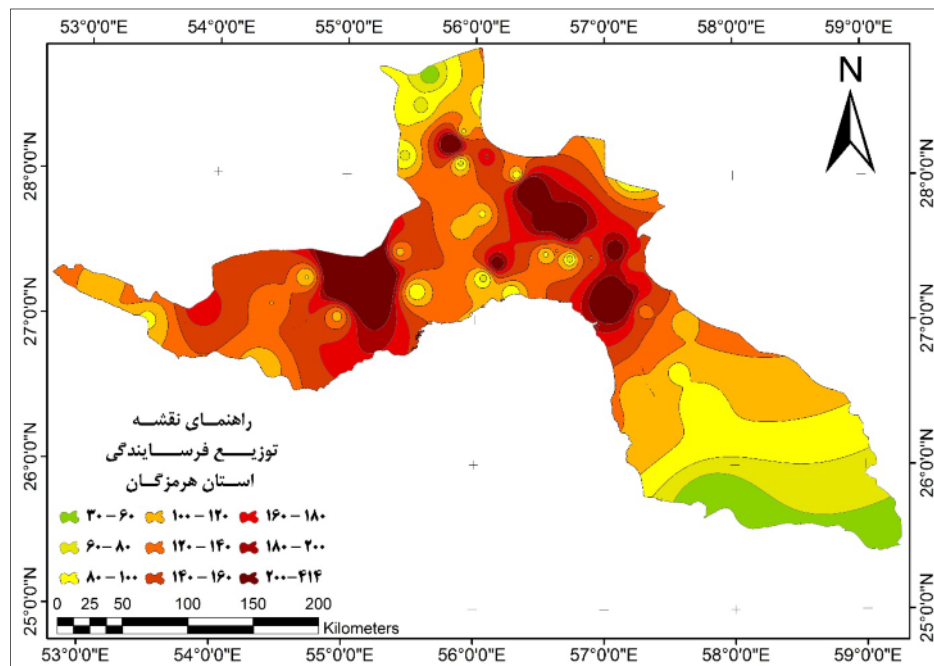
ردیف	مدل تخمین	ضریب تبیین ( $R^2$ )	RMSE
۱	کوکرینجینگ	۵۳/۰	۱/۳۹
۲	کرینجینگ معمولی	۵۸/۰	۰۱/۴۵
۳	IDW	۵۲/۰	۶/۴۸
۴	IDW <sup>2</sup>	۶۴/۰	۴۱/۷
۵	IDW <sup>3</sup>	۷/۰	۵۲/۳۸

همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است روش میان‌یابی IDW با توان ۳، با داشتن حداقل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و حداکثر ضریب تبیین ( $R^2$ )، روش میان‌یابی ارجح برای پهنه‌بندی کمیت قدرت فرساینده‌گی باران در استان هرمزگان می‌باشد.

پس از ارزیابی روش‌های میان‌یابی و انتخاب روش برتر میان‌یابی، مقادیر قدرت فرساینده‌گی باران برای مختصات جغرافیایی فاقد آمار، برآورد شده است. نتیجه این عمل به صورت نقشه‌ی فرساینده‌گی باران، در شکل ۳ ارائه شده است. الگوی قدرت فرساینده‌گی باران، بیانگر تغییرات تدریجی و افزایشی آن از قسمت‌های جنوب شرقی استان به سمت مرکز و شمال غرب استان است. البته این روند در دیگر جهات نیز قابل تشخیص می‌باشد، اما از نظم و گستردگی مورد اخیر برخوردار نیست. به طوری که روند تغییرات جنوب شرقی-شمال غربی مشهودترین روند تغییر در میزان قدرت فرساینده‌گی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طور که از نقشه فرساینده‌گی استان برمی‌آید، در محدوده‌های شرقی‌تر استان قدرت فرساینده‌گی باران دارای آشفتگی کمتری نسبت به سایر مناطق و مخصوصاً مناطق مرکزی و شمالی استان است. شکل ۲ الگوی تغییرات مکانی بارندگی سالانه و شکل ۳ الگوی توزیع مکانی قدرت فرساینده‌گی بارش استان هرمزگان را نشان می‌دهد.



شکل ۲: الگوی تغییرات مکانی بارندگی سالانه استان هرمزگان



شکل ۳: الگوی توزیع عامل فرساینده سالانه استان هرمزگان (MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>yer<sup>-1</sup>).

مطابق الگوی به دست آمده، میزان فرساینده باران منطقه مورد مطالعه در طبقات با قدرت فرساینده متفاوت (داسیلوا، ۲۰۰۴: ۲۵۵) گروه بندی شده است. جدول ۵ مساحت تحت پوشش هر یک از طبقات قدرت فرساینده باران را نشان می دهد. همان طور که در جدول ۵ مشخص است، نزدیک ۴۰ درصد از مساحت استان متأثر از فرساینده باران در محدوده قدرت ۱۰۰-۱۴۰ مگاژول در میلی متر بر هکتار در ساعت در سال (MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>) و کمترین مساحت (۴ درصد) آن نیز از فرساینده باران در محدوده قدرت ۱۸۰-۲۰۰ MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> متأثر می باشد. در ضمن تنها ۷/۶ درصد از مساحت استان هرمزگان متأثر از بارش هایی با قدرت فرساینده بیش از ۲۰۰ MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> می باشد.

جدول ۵: مساحت تحت پوشش شدت‌های مختلف فرساینده‌گی باران استان هرمزگان

درصد مساحت تجمعی	درصد مساحت نسبی	مساحت (Km)	طبقه فرساینده‌گی (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )
۵.۵۵	۵.۵۵	۳۸۷۳.۸۲	۶۰-۳۰
۱۲.۷۲	۷.۱۷	۵۰۰۱.۷۰	۸۰-۶۰
۲۵.۱۵	۱۲.۴۲	۸۶۶۷.۰۸	۱۰۰-۸۰
۴۴.۳۶	۱۹.۲۱	۱۳۴۰۰.۵۰	۱۲۰-۱۰۰
۵۰.۶۵	۱۹.۰۳	۱۳۲۶۹.۰۶	۱۴۰-۱۲۰
۸۰.۱۷	۱۶.۷۹	۱۱۷۱۴.۰۶	۱۶۰-۱۴۰
۸۸.۳۱	۸.۱۴	۵۶۷۷.۰۸	۱۸۰-۱۶۰
۹۲.۳۴	۴.۰۳	۲۸۱۰.۰۳	۱۸۰-۲۰۰
۱۰۰.۰۰	۷.۶۶	۵۳۴۶.۸۰	۲۰۰-۴۱۴

در ادامه از روابط همبستگی برای روشن کردن ارتباط و میزان همبستگی مقادیر فرساینده‌گی باران با تغییرات ارتفاعی استان و همچنین با تغییرات بارش و طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. نتایج اخیر که در جدول ۶ ارائه شده است نشان می‌دهد که مقادیر فرساینده‌گی باران بیشترین میزان همبستگی را با میزان بارندگی از خود نشان داده و همبستگی معنی‌داری با دیگر متغیرهای مورد بررسی ندارد.

جدول ۶: ماتریس همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی

متغیر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بارش	ارتفاع	فرساینده‌گی باران (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )
۱ طول جغرافیایی	۱	۰.۹۲۳/**	۰.۱۲۳/	۰.۱۷۰/	۰.۱۰۷/۰
۲ عرض جغرافیایی	-	۱	۰.۲۳۵/	۰.۲۹۷*	۰.۰۸۲/۰
۳ بارش	-	-	۱	۰.۱۱/۰	۰.۳۸۲/۰/**
۴ ارتفاع	-	-	-	۱	۰.۰۸۱/۰
۵ فرساینده‌گی باران (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	۱

\* معنی‌داری در سطح ۰.۱۰ درصد

\*\* معنی‌داری در سطح ۰.۰۵ درصد

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق تعیین الگوی تغییرات مکانی فرساینده‌گی باران در استان هرمزگان با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده می‌باشد. به صورتی که قدرت فرساینده‌گی باران در ۶۷ ایستگاه باران‌سنجی استان هرمزگان محاسبه گردید و برای تبدیل این اطلاعات نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه‌ای از روش‌های میان‌یابی مبتنی بر زمین‌آمار استفاده شده است. با توجه به نتایج، مدل تغییرنمای خطی، به‌عنوان ساختار فضایی ارجح جهت برازش بر روی داده‌ها و روش IDW با توان ۳، روش میان‌یابی برتر برای پهنه‌بندی کمیت قدرت فرساینده‌گی باران در استان هرمزگان است. احمدی و همکاران (۱۳۹۳) نیز روش IDW را مناسب‌ترین روش برای میان‌یابی داده‌های نقطه‌ای فرساینده‌گی در محدوده استان قزوین معرفی کردند.

به‌علاوه در این پژوهش از روابط همبستگی بین مقادیر فرساینده‌گی باران و متغیرهای ارتفاع، متوسط بارندگی منطقه و مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی)، برای بررسی علل روند تغییرات قدرت فرساینده‌گی باران استفاده شده است. با توجه به اینکه میزان بارش سالانه منطقه بین ۲/۱۰۰ تا ۸/۴۰۹ میلی‌متر و قدرت فرساینده‌گی باران در استان هرمزگان از ۳۱ تا ۴۱۴  $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{yr}^{-1}$  متغیر بوده است، تحلیل الگوی توزیع قدرت فرساینده‌گی و متوسط بارندگی سالانه نشان می‌دهد که علی‌رغم انطباق الگوهای توزیع مکانی این متغیرها، این انطباق مطلق نبوده و در برخی مناطق این متغیرها رفتار متفاوتی را از خود نشان دادند. به‌طوری‌که می‌توان دریافت که مناطق با میزان بارش حداکثر الزاماً از قدرت فرساینده‌گی بیشتری نیز برخوردار نمی‌باشند. در مناطق غربی استان که عمدتاً در طبقات با بارش حداقل قرار دارند، شاهد قرار گرفتن آن‌ها در رده‌های بالایی از قدرت فرساینده‌گی باران یعنی نزدیک به طبقه مناطق شمال-شرقی (رودان و میناب) استان که داری حداکثر میزان بارش می‌باشند؛ بوده‌ایم. از دلایل این امر می‌توان به تعداد پائین رخدادهای بارندگی در این مناطق اشاره نمود. در این مناطق عمده‌ی بارش‌ها طی یک یا چند رخداد اتفاق افتاده و بارش‌های با پایه‌ی زمانی کوتاه (شدت بالا) درصد بالایی از حجم بارش سالانه را به خود اختصاص می‌دهند. در نتیجه و بر اساس فرمول مدل فورنیه اصلاح شده (رابطه ۲)، علی‌رغم مقدار کم بارندگی، این‌گونه مناطق از قدرت فرساینده‌گی بالایی برخوردار می‌باشند (شکل ۲ و ۳). بررسی روابط بین قدرت فرساینده‌گی (عامل R) با میزان بارندگی، تغییرات ارتفاعی، و تغییرات طول و عرض جغرافیایی نشان داد که قدرت فرساینده‌گی بارندگی در استان هرمزگان تنها با مقادیر بارندگی دارای ارتباط معنادار می‌باشد و با دیگر متغیرها ارتباط معناداری را از خود نشان نداد. این در حالی است که اسلامی و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات قدرت فرساینده‌گی استان خوزستان را متناسب و در ارتباط با تغییرات ارتفاعی، طول و عرض جغرافیایی و تغییرات بارش عنوان داشتند. ترابیان و همکاران (۱۳۹۳) علی‌رغم گزارش ارتباط معنادار تغییرات قدرت فرساینده‌گی با میزان بارندگی‌های جنوب غربی کشور ایران، ارتباط معناداری بین تغییرات این متغیر با تغییرات ارتفاعی نیافتند. داسیلوا (۲۰۰۴) در کشور برزیل نیز همبستگی بالای بین تغییرات فرساینده‌گی باران با تغییرات بارش متوسط سالانه و همبستگی معنادار بین فرساینده‌گی باران با طول جغرافیایی مناطق موردبررسی را گزارش دادند. بنابراین نمی‌توان انتظار الگوی رفتاری یکسانی برای تغییرات قدرت فرساینده‌گی باران را در مناطق مختلف انتظار داشت چراکه طی تحقیقات در مناطق مختلف ارتباط این متغیر با سایر متغیرهای محیطی هم‌رد و هم‌تأیید شده است. در این بین نامنظمی‌های مشاهده‌شده می‌تواند ناشی از ناهمسو بودن تأثیر هم‌جواری منطقه مورد مطالعه با دریا، وجود کوه‌ها و نهایتاً ورود جبهه‌های اقلیمی از سمت اقیانوس هند و دریای عمان به منطقه مورد مطالعه باشد که هر کدام به طریقی بر الگوی توزیع بارندگی و نهایتاً توزیع میزان فرساینده‌گی باران تأثیر می‌گذارند.

بر اساس نتایج اخیر و سایر مطالعات صورت گرفته، معتبرترین شاخص ارائه‌شده برای بررسی قدرت فرساینده‌گی باران شاخص  $EI_{30}$  می‌باشد که نیازمند داده‌های باران‌نگار می‌باشد. در ایران تعداد محدودی از ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به باران‌نگار می‌باشند که در استان هرمزگان این امر به‌شدت چشمگیر است. لذا پیشنهاد می‌شود تجهیز ایستگاه‌های

هواشناسی به باران‌نگار در دستور کار مراجع ذیربط قرار گیرد. نتایج و اطلاعات خروجی این تحقیق را می‌توان برای برآورد مقادیر فرسایش و رسوب و اولویت‌بندی مناطق استان هرمزگان جهت اجرای پروژه‌های کنترل فرسایش و رسوب مورد استفاده قرارداد.

## منابع

- احمدی حسن، جوادی محمدرضا، و صلواتی عقیق، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی قدرت فرساینده‌ی باران به روش فورنیه با استفاده از برخی روش‌های درون‌یابی (مطالعه موردی: استان قزوین). فصلنامه علمی-پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی ایران، سال پنجم، دوره ۲، صص. ۱-۱۴.
- اسلامی، حسین، سلاجقه، علی، خلیقی سیگارودی، شهرام، احمدی، حسن، و ایوبی، شمس‌الله، ۱۳۹۳، بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های فرساینده‌ی باران با استفاده از زمین‌آمار در استان خوزستان. مرتع و آبخیزداری، دوره شصت و هفتم، شماره ۳، صص. ۳۹۳-۴۰۶.
- ترابیان‌مقدم، الهه، نادری، مهدی، محمدی، جهانگرد و فتاحی، روح اله، ۱۳۹۳، تغییرات زمانی و مکانی ضریب فرساینده‌ی در جنوب غرب ایران. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد بیست و یکم، شماره ۴، صص. ۱۳۹-۱۵۷.
- رضائی، پیمان، فریدی، پروانه، قربانی، منصور و کاظمی، محمد، ۱۳۹۳. برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل *RUSLE* و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوزه آبخیز گابریک-جنوب خاوری استان هرمزگان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۱، صص. ۹۷-۱۱۳.
- حکیم‌خانی شاهرخ، حکیم‌خانی، ایرج، ۱۳۸۹، تهیه نقشه فرساینده‌ی باران برای استان لرستان، مجله پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره ۸۹، صص. ۶۳-۷۲.
- حکیم‌خانی، شاهرخ، مهدیان، محمدحسین و عرب‌خداری، محمود، ۱۳۸۶، تهیه نقشه فرساینده‌ی باران برای حوضه دریاچه نمک. نشریه منابع طبیعی ایران، دوره شصتم، شماره ۳، صص. ۷۱۳-۷۲۶.
- عرفانیان، مهدی، قهرمانی‌ساعتلو، پریسا و سعادت، حسین، ۱۳۹۳، ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از یک مدل فازی در آبخیز قرقانوه گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، دوره بیست و یکم، شماره ۶، صص. ۱۳۵-۱۵۴.
- علی‌پور، زرین‌تاج، مهدیان محمدحسین، پذیرا، ابراهیم، رحیمی‌بندرآبادی، سیما و سعیدی، مصطفی، ۱۳۸۹، مقایسه کارایی روش‌های معمول زمین‌آمار با روش فازی کریجینگ در تهیه نقشه هم فرساینده‌ی باران در حوزه آبخیز دریاچه نمک. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، دوره شصتم، شماره ۱، صص. ۳۲-۴۱.
- Asadi, H., Rouhipour, H., Rafahi, H. G., & Ghadiri, H. (2008). Testing a mechanistic soil erosion model for three selected soil types from Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10, 79-91.
- Aslan, Z., Sogut, A., & Okcu, D. (2005). Spatial and temporal variations of water erosion, aridity and vegetation. In *Geophysical Research Abstracts (Vol. 7, p. 11135)*.
- Bertoni, J., & Lombardi Neto, F. (1990). *Conservação do solo. ícone*. São Paulo. Brazil 355 pp.
- Behzadfar, M., Hasanzadeh, H. & Saberi M., (2009). Estimation of Fournier Rainfall Erosivity Factor in North Khorasan Province. *Fifth National Conference on Science and engineering Watershed Management*.
- Da Silva, A. M. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57(3), 251-259.
- Fournier, F. (1956). The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. *Association Hydrologic Int. Public*, 38.
- Hu, Q. I., Gantzer, C. J., Jung, P. K., & Lee, B. L. (2000). Rainfall erosivity in the Republic of Korea. *Journal of soil and water conservation*, 55(2), 115-120.
- Hudson, N. (1971). *Soil conservationl Cornell Univ. Press*, Ithaca, New York.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). Using ArcGIS geostatistical analyst (Vol. 380). *Redlands: Esri*.
- Lee, J. H., & Heo, J. H. (2011). Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology*, 409(1), 30-48.

- Ludwig, J. A., Eager, R. W., Liedloff, A. C., Bastin, G. N., & Chewings, V. H. (2006). A new landscape leakiness index based on remotely sensed ground-cover data. *Ecological Indicators*, 6(2), 327-336.
- Mannaerts, C. M., & Gabriels, D. (2000). Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil and Tillage Research*, 55(3), 207-212.
- Meusburger, K., Steel, A., Panagos, P., Montanarella, L., & Alewell, C. (2012). Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), 167-177.
- Morgan, R. P. C. (2004). *Soil erosion and conservation*. ISBN: 978-1-4051-1781-4. December 2004, Wiley-Blackwell. 316 pp.
- Oduro-Afriyie, K. (1996). Rainfall erosivity map for Ghana. *Geoderma*, 74(1), 161-166.
- Onchev, N. G. (1985). Universal index for calculating rainfall erosivity.
- Petkovšek, G., & Mikoš, M. (2004). Estimating the R factor from daily rainfall data in the sub-Mediterranean climate of southwest Slovenia/Estimation du facteur R à partir de données journalières de pluie dans le climat sub-méditerranéen du Sud-Ouest de la Slovénie. *Hydrological sciences journal*, 49(5).
- Posch, M., & Rekolainen, S. (2003). Erosivity factor in the Universal Soil Loss Equation estimated from Finnish rainfall data. *Agricultural science in Finland (Finland)*.
- Renard, K. G., & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157(1), 287-306.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture handbook, 703.
- Sadeghi, S. H. R., & Hazbavi, Z. (2015). Trend analysis of the rainfall erosivity index at different time scales in Iran. *Natural Hazards*, 77(1), 383-404.
- Sadeghi, S. H. R., Moatamednia, M., & Behzadfar, M. (2011). Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 451-464.
- Shamshad, A., Azhari, M. N., Isa, M. H., Hussin, W. W., & Parida, B. P. (2008). Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI 30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena*, 72(3), 423-432.
- Van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2000). *Soil erosion risk assessment in Europe*.
- Ferro, V., Porto, P., & Yu, B. (1999). A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. *Hydrological sciences journal*, 44(1), 3-24.
- Wischmeier, W. H. (1959). A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, 23(3), 246-249.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning*. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning.
- Yin, S., Xie, Y., Nearing, M. A., & Wang, C. (2007). Estimation of rainfall erosivity using 5-to 60-minute fixed-interval rainfall data from China. *Catena*, 70(3), 306-312.