

پهنه‌بندی قدرت فرسایندگی باران به روش فورنیه با استفاده از برخی روش‌های درون‌یابی (مطالعه موردی: استان قزوین)

حسن احمدی^۱، محمدرضا جوادی^۲، عقیق صلواتی^{۳*}
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۲۳

چکیده

در تحقیق حاضر فرسایندگی باران در استان قزوین از طریق مدل فورنیه و بر اساس دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۸۷) ایستگاه‌های سازمان هواشناسی (سینوپتیک، کلیماتولوژی و بارانسنجی) و سازمان آب منطقه‌ای مدل‌سازی و برآورد شده است. جهت تعمیم داده‌های نقطه‌ای مقادیر قدرت فرسایندگی در مدل فورنیه به سطح، در استان قزوین از روش کریجینگ و IDW استفاده شد و برای ارزیابی روش‌های درون‌یابی از روش ارزیابی متقابل و معیار RMSE بهره گرفته شد که بر اساس آن روش IDW به دلیل کمتر بودن خطای مجذور مربع میانگین (۶/۵۹) مناسب‌تر از روش کریجینگ (۷/۲۳) تشخیص داده شد. همچنین از واریوگرام با مدل نمایی به عنوان مدل مناسب جهت برازش استفاده گردید. مدل‌سازی و برآورد فرسایندگی باران در استان قزوین از طریق توابع تحلیل مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار **GS+** انجام گرفت. نتایج نشان داده که میزان قدرت فرسایندگی باران در نواحی شمال و شمال‌شرق استان با میانگین حداقل و حداکثر بارش سالانه (۲۱۶/۱ و ۷۷۶/۹) و چند نقطه در جنوب غرب استان با میانگین حداقل و حداکثر بارش سالانه (۲۰۵/۲ و ۷۵۱) بیش‌ترین مقدار ضریب فرسایندگی باران را دارا هستند که چنین تغییراتی می‌تواند متاثر از الگوی توزیع بارندگی، شدت آن و خصوصیات توپوگرافی باشد. نهایتاً سطح استان به ۴ پهنه فرسایشی ناچیز، کم، متوسط و زیاد تقسیم شد.

واژه‌های کلیدی: استان قزوین، فرسایندگی باران، مدل فورنیه، درون‌یابی، کریجینگ، IDW

Archive of SID

^۱-استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران

^۲- استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، مازندران، ایران.

^۳-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: Email: salavati.a88@gmail.com

مقدمه

خاک به عنوان یکی از مهمترین اجزاء تشکیل‌دهنده منابع طبیعی می‌باشد. فرسایش خاک در شرایط موجود خطری برای ادامه حیات انسان به شمار می‌رود. عدم کنترل فرسایش و مهمتر از آن تشدید فرسایش خاک با فعالیتهای انسانی موجب از دست رفتن حاصلخیزی خاک و متروک شدن مزارع در مناطق وسیعی از سطح کره زمین شده است.

میزان فرسایش در طی دهه‌های اخیر به طور چشمگیری افزایش یافته به طوری که در مقیاس جهانی نزدیک به ۲ میلیارد هکتار و یا در حدود ۱۳ درصد از سطح کره زمین در قبال تخریب‌های ناشی از فرسایش دچار مشکل شده است و در این بین فرسایش آبی دلیل اصلی تخریب بوده است (۱۸). در ایران نیز در اثر فرسایش خاک، سالانه ۲/۵ تا ۲/۷ میلیارد تن خاک از دسترس خارج می‌شود که این میزان فرسایش در مقابل خاک‌سازی سالانه بسیار زیاد است (۱).

فرساینده‌گی باران، نیروی محرکه یا توان عوامل فرسایش‌زا در جداسازی و انتقال ذرات خاک در ارتباط با فرسایش آبی است (۱۳). قدرت فرساینده‌گی باران نقش زیادی در فرسایش خاک داشته و می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش در مناطق مورد نظر باشد (۱۶). اگر سایر خصوصیات موثر بر فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان تلفات خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده‌گی باران خواهد بود. این عامل معمولاً در قالب شاخص‌های فرساینده‌گی که مبتنی بر خصوصیات بارندگی هستند بیان می‌شود.

شاخص‌های فرساینده‌گی باران را در کل می‌توان در دو گروه تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از: گروه اول شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی و گروه دوم شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول. از شاخص‌هایی که مقبولیت جهانی دارند در گروه اول می‌توان به شاخص ویشمایر-اسمیت^۱، شاخص هادسون^۲ و شاخص اونچو^۳ و از شاخص‌های گروه دوم می‌توان به شاخص‌های فورنیه^۴، مورگان^۵، آرنولدز^۶ و رز^۷ اشاره کرد (۲۰). از مشکلات شاخص‌های مبتنی بر آمار جنبشی و شدت بارندگی این است که به آمار طولانی مدت (بالاتر از ۲۰ سال) و شدت بارندگی (با فواصل کوتاه مدت) ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به باران‌نگار نیاز دارد به دلیل اینکه چنین آماری در بیشتر نقاط دنیا به خصوص برای دوره‌های زمانی طولانی مدت وجود ندارد و فرآیند محاسبه آن وقت‌گیر و مشکل است از اینرو محققان از شاخص‌های سهل‌الوصول استفاده می‌کنند (۲۲). در این تحقیق از شاخص فورنیه استفاده شد. زیرا پارامترهای این شاخص پارامترهایی هستند که اطلاعات آماری مناسبی از آنها در اختیار است. از کاربردهای شاخص‌های فرساینده‌گی و نقشه‌های حاصل می‌توان به مواردی نظیر؛ کمک به برنامه‌ریزی، ارائه و اجرای طرح‌های مناسب حفاظت خاک از طریق شناخت مناطق با حساسیت بیشتر به

¹-Wischmeier& Smith

²- Hudson

³-Onchev

⁴-Fournier

⁵-Morgan

⁶-Arnoldus

⁷-Rose

را برای را برای مناطق فاقد آمار بارندگی بدست آوردند (۲۳) Alimohamadpour *et al.*, (2012) به ارزیابی دقت و کارایی روش شاخص فورنیه و تجزیه‌عاملی در تهیه نقشه شدت فرسایش و مقایسه آن با روش EPM در حوضه‌های آبخیز نیمه‌خشک پرداختند نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد روش امتیازدهی عاملی به دلیل داشتن اختلاف نسبی کمتر در مقایسه با مدل EPM در حوضه آبخیز مورد مطالعه نسبت به روش فورنیه روش مناسب‌تری می‌باشد (۲) Fournier (1960) با تحقیق در زمینه مشخص کردن شاخص مناسب برای ارزیابی فرسایش، شاخص $\frac{P^2}{P}$ را به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تهیه مقدار کمی خطر فرسایش و تهیه نقشه آن ارائه نموده که دارای خروجی قابل قبول در کشورهای مختلف از جمله مالزی بوده است (۸) Oduro (1999) با استفاده از شاخص فورنیه و آمار بارندگی ماهانه و سالانه برای مدت ۳۰ سال به تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در غنا پرداخت و کشور غنا را به ۵ ناحیه از نظر خطر فرساینده‌گی باران تقسیم‌بندی نمود (۱۷) Anton *et al.*, (2010) با استفاده از روش‌های فورنیه و فورنیه اصلاح شده به برآورد فرساینده‌گی سالانه بارش در کشور آفریقا پرداختند و توانستند میانگین فرساینده‌گی بارش را تخمین بزنند (۳) Eltaif *et al.*, (2010) نیز از شاخص فورنیه برای پهنه‌بندی قدرت فرساینده‌گی باران در شمال اردن استفاده کردند و نتیجه تحقیق نشان دهنده این بود که میزان فرساینده‌گی در شمال غرب اردن بیشتر از شمال شرق است (۶).

قدرت فرساینده‌گی باران و فرسایش خاک اشاره نمود. با توجه به موارد ذکر شده و اهمیت روزافزون فرسایش خاک این تحقیق انجام شده است. از تحقیقات انجام گرفته در ارتباط با شاخص‌های سهل‌الوصول فورنیه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: بررسی ارتباط تولید رسوب سالانه با شاخص فورنیه در حوضه آبخیز مندریجان سد زاینده‌رود انجام شد. این ارتباط طی دوره ۲۳ ساله با استفاده از روابط رگرسیونی بررسی و نتایج به دست آمده بر عدم ارتباط معنی‌دار آنها با یکدیگر دلالت می‌کرد (۱۹). با استفاده از GIS میان‌یابی و تعمیم داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای و تخمین فرساینده‌گی باران با روش فورنیه در استان اصفهان انجام شد و نتایج تحقیق حاکی از آن بود که میزان فرساینده‌گی باران در شمال غرب اصفهان بیشتر از سایر مناطق استان است (۹). Tajalipour *et al.*, (2008) به بررسی شاخص فرساینده‌گی باران در حوضه دریاچه نمک پرداختند و بیان نمودند که EI_{30} از رایج‌ترین شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی است که همبستگی بالایی با میزان تلفات خاک ناشی از فرسایش آبی دارد و از محدودیت‌های این شاخص، نیاز آن به آمار شدت بارندگی با حداقل دوره آماری ۲۰ سال با فواصل ۳۰ دقیقه‌ای است که دسترسی به آن مشکل است از اینرو این محققین رابطه رگرسیونی بین R و خصوصیات بارندگی با شاخص‌های فرساینده‌گی سهل‌الوصول از جمله بارندگی متوسط سالانه، ماهانه، شاخص فورنیه و شاخص فورنیه اصلاح شده برقرار کردند و R

طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از توابع تحلیل مکانی، فرساینده‌گی باران با استفاده از رابطه‌ی فورنیه در استان قزوین برآورد و مدل‌سازی در این خصوص صورت گیرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه:

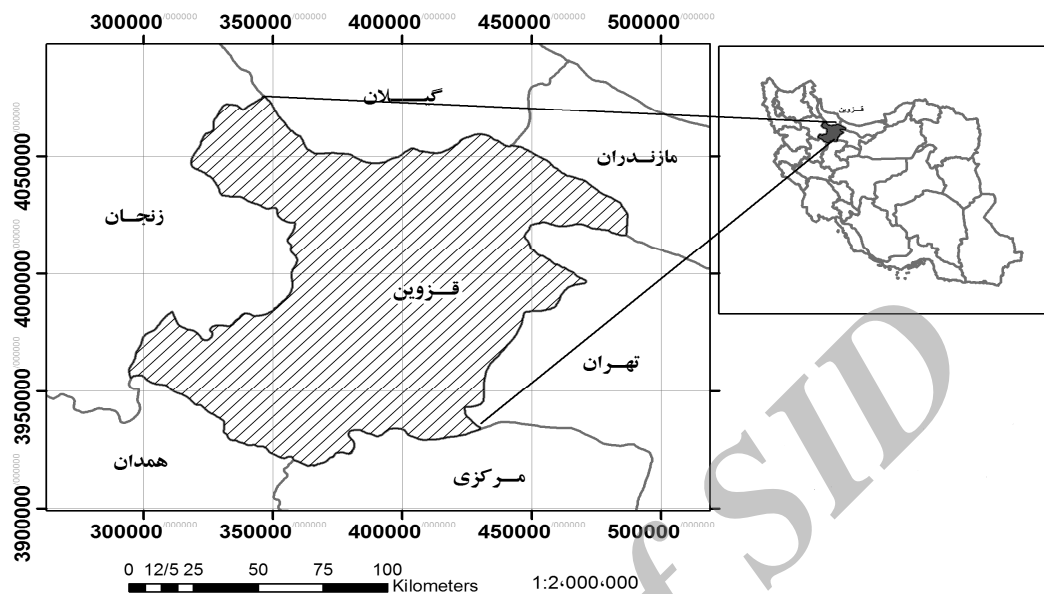
استان قزوین در حوزه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این استان از شمال به استان‌های مازندران و گیلان، از غرب به استان‌های زنجان و همدان، از جنوب به استان مرکزی و از شرق به استان تهران محدود می‌باشد (شکل ۱).

ساختار توپوگرافی متفاوت، شرایط اقلیمی مختلفی را در پهنه جغرافیایی استان به وجود آورده که با نوسانات آشکاری همراه است. این گوناگونی برحسب عوامل و عناصر متأثر در شرایط آب و هوایی، چهار محدوده جغرافیایی را برجسته می‌سازد که شامل آب و هوای سرد کوهستانی که نواحی شمالی و نیز ارتفاعات جنوب غربی استان را در برمی‌گیرد، آب و هوای معتدل کوهپایه‌ها و دامنه‌ها، آب و هوای نسبتاً خشک تا نیمه‌خشک که شامل نواحی مرکزی دشت قزوین و بوئین زهرا است و آب و هوای مرطوب گرمسیری که در بخش‌هایی از تارم و دره شاهرود دیده می‌شود. براساس نقشه‌های همباران استان و همچنین میانگین

تعمیم داده‌های نقطه‌ای به سطح از دیرباز مورد توجه متخصصان و کارشناسان علوم زمین بوده است. روش‌های زمین‌آمار مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و تخمین‌گرهای مورد استفاده در تغییرپذیری مکانی و همبستگی پدیده‌های توزیع شده در فضایی پیوسته برای برآورد در مکان‌های نمونه‌برداری نشده را در برمی‌گیرد که به طور کلی شامل دو مرحله‌ی بررسی داده‌ها و تحلیل ساختاری اطلاعات، مطابق با تشریح‌پذیری فضایی متغیر و برآورد فضایی نقاط نمونه برداری نشده است (۱۵). از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به این موارد اشاره کرد: Stow *et al.* (1998) برای برآورد فرساینده‌گی باران در جزیره نورفولک استرالیا از روش‌های زمین‌آمار استفاده کردند و روش IDW را مناسب‌تر از سایر روش‌ها تشخیص دادند (۲۱).

Behzadfar *et al.* (2009) به مطالعه شاخص فرساینده‌گی فورنیه در استان خراسان شمالی پرداختند، آنها با استفاده از آمار بلند مدت بارندگی ایستگاه‌های موجود، شاخص فورنیه را بدست آورده و با استفاده از روش زمین‌آمار و مقایسه معیار RMSE و تشخیص کمتر بودن خطای کریجینگ (۰/۹۹) نسبت به IDW (۱/۰۱)، نقشه پهنه‌بندی خطر فرساینده‌گی استان خراسان شمالی را تهیه نموده و ۵ کلاس فرسایشی را برای سطح استان بدست آوردند (۴). با توجه به استفاده‌ی فراوان از روش‌های زمین‌آمار، در این پژوهش سعی شده است، روش مناسب برای تعمیم داده‌های بارش به سطح از طریق معیار RMSE از بین روش‌های کریجینگ و IDW ارائه گردد. همچنین از

بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال شرقی متغیر است (۲۶).
در بخش‌های شرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان قزوین

روش تحقیق:

آمارهای مناسبی از آنها در اختیار است و از آنجایی که الگوریتم‌های درون‌یابی از متداولترین روشها برای تهیه نقشه‌های و اطلاعات مورد نیاز در تحلیل با GIS می‌باشد در این تحقیق به بررسی برخی روشهای درون‌یابی (معین و زمین‌آماری) جهت تهیه نقشه قدرت فرساینده‌گی باران در منطقه مورد نظر پرداخته شده است.

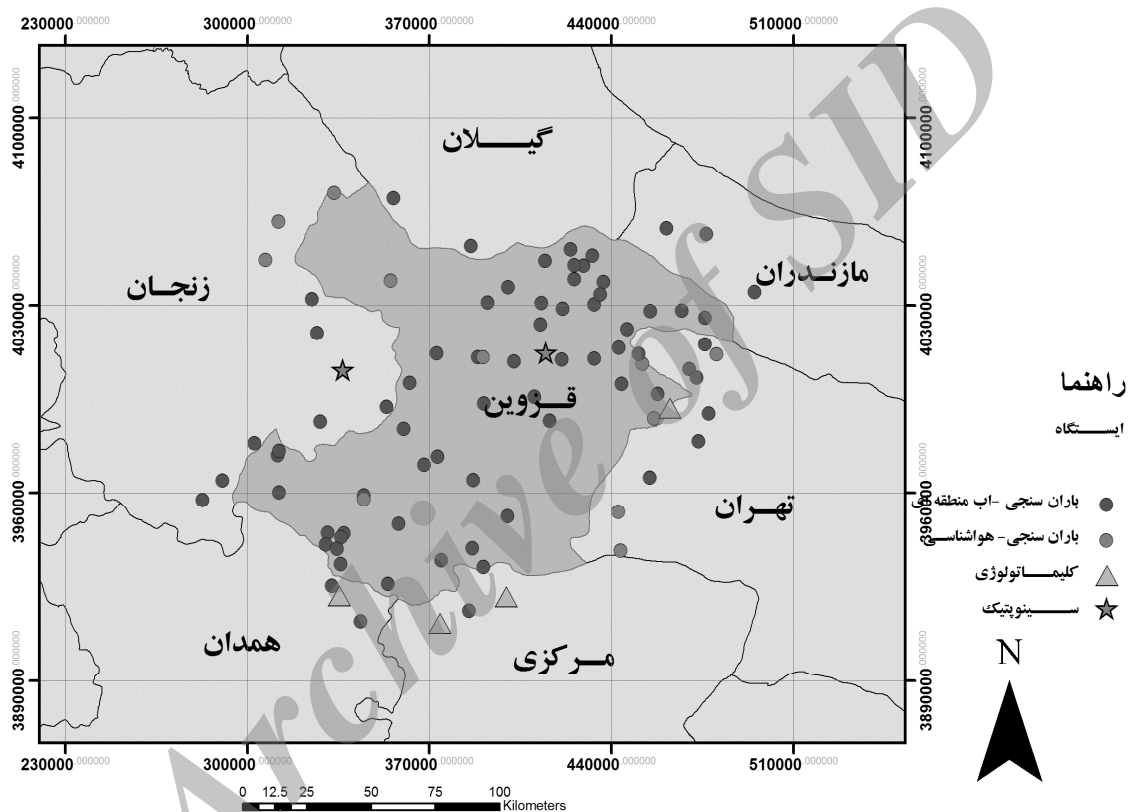
گردآوری آمار و اطلاعات:

به منظور جمع‌آوری آمار به سازمان‌های هواشناسی کشور و سازمان مطالعات منابع آب ایران مراجعه شد و اطلاعات مربوط به میزان بارندگی ماهانه، سالانه و همچنین خصوصیات ایستگاه‌ها اعم از طول و عرض جغرافیایی،

در این تحقیق به پهنه‌بندی قدرت فرساینده‌گی باران و تعیین بهترین روش درون‌یابی، جهت استفاده در تهیه نقشه فرساینده‌گی باران در استان قزوین پرداخته شده است. دلیل انتخاب استان قزوین این است که در بررسی‌های اولیه مشخص شد که این استان دارای آمار بارندگی مناسبی جهت انجام تحقیق بوده و تعداد و نحوه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و ایستگاه‌های باران‌سنجی در آن مناسب می‌باشد. با بررسی داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها، یک دوره آماری ۲۰ ساله تعیین شد و با استفاده از آن به تعیین قدرت فرساینده‌گی باران با روش فورنیه پرداخته شد. زیرا پارامترهای شاخص فورنیه پارامترهایی هستند که اطلاعات

بطوریکه در انتها از داده‌های ۸۹ ایستگاه با توجه به دوره آماری مشترک استفاده شد که از میان آنها ۳ ایستگاه سینوپتیک، ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی، ۴ ایستگاه کليما تولوژی و ۷۲ ایستگاه باران‌سنجی آب منطقه‌ای وجود دارد که ۵۷ ایستگاه داخل استان و ۳۲ ایستگاه در استان‌های مجاور واقع شده است (شکل ۲).

ارتفاع ایستگاه‌ها و تعداد سالهایی که ایستگاه‌ها دارای آمار بارندگی بوده تهیه گردیده است. دوره داده‌های موجود در ایستگاه‌های مختلف، متفاوت بوده و در برخی از ایستگاه‌ها داده‌ها برای دوره سی ساله و برخی ایستگاه‌ها برای دوره‌های کمتر و یا بیشتر موجود بوده است از اینرو با بررسی آنها یک دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۸۷) انتخاب گردید.



شکل ۲- پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در تحقیق

است. فورنیه با استفاده از داده‌های ۷۸ حوزه آبخیز دو روش مختلف جهت برآورد میزان رسوب ارائه داده است. در معادلات ارائه شده توسط فورنیه، رابطه مستقیمی بین میانگین سالانه تولید رسوب و نسبت $\frac{P^2}{P}$ وجود دارد. این نسبت اقلیمی تحت عنوان شاخص فورنیه

محاسبه شاخص فورنیه

همانطور که در قبل گفته شد شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی و شدت بارندگی محدودیت‌هایی دارند به همین دلیل محققان از شاخص‌های ساده‌تری مانند شاخص‌های مبتنی بر آمار سهل‌الوصول استفاده می‌کنند که از معروف‌ترین این شاخص‌ها، شاخص فورنیه

واریوگرام تجربی، علاوه برآنکه به بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری متغیر ناحیه‌ای می‌پردازد و چگونگی تغییرات آنرا بیان می‌کند، نوعی نقش تلخیص کننده داده‌ها را نیز دارد. برای واریوگرام تعداد معدودی مدل شناخته شده که عبارتند از واریوگرام نمایی، کروی، گوسی و دایره‌ای که به طور معمول به کار می‌رود. برای برآزش مدل واریوگرام، نسبت $\frac{c}{c_0+c}$ می‌بایست نزدیک به ۱ باشد، به این معنی که واریانس اثر قطعه‌ای تا حد ممکن به مبدا نمودار واریوگرام نزدیک باشد (۱۱).

روش کریجینگ:

کریجینگ یک روش تخمینی است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار است و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است (۱۱). یکی از مهم ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمین، خطای مرتبط با آن را می‌توان حساب کرد. بنابراین، برای هر مقدار تخمین زده شده می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد. در حالی که در روش‌های کلاسیک معمولاً چنین نخواهد بود. این تخمینگر به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (۲۴).

فرمول (۳)

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

که در آن:

$Z(x_0)$ = مقدار تخمین زده شده در نقطه مجهول x_0 و n تعداد داده‌های معلوم می‌باشد.

مطرح می‌باشد و به عنوان شاخص فرساینده‌گی باران بکار گرفته می‌شود (۷).

$$F = \frac{F_m^2}{P} \quad (۱)$$

که در آن:

F = شاخص فورنیه (میلی متر)

P_m = مقدار بارندگی در مرطوب‌ترین ماه

سال یا متوسط حداکثر بارندگی ماهانه در سال

P = متوسط بارندگی سالانه

واریوگرام:

واریوگرام رکن اصلی و قلب زمین آمار است که ساختار ارتباط مکانی را در بین نمونه‌ها نشان می‌دهد. به عبارت دیگر واریوگرام، واریانس اختلاف ارزش جفت نقاطی به فاصله h از یکدیگر است (۲۵).

تابع واریوگرام را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

فرمول (۲)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

که در آن:

$\gamma(h)$ = مقدار واریوگرام (نصف میانگین مجذور

اختلاف دو مشاهده) برای تعداد N جفت نمونه

که با فاصله h (گام یا Lag) از یکدیگر قرار گرفته

اند.

$Z(x_i)$ = ارزش متغیر x در نقطه i

ممکن است که واریوگرام را برای جهت‌های

مختلف محاسبه کنیم در صورتیکه مقدار آن در

تمام جهت‌ها برابر باشد واریوگرام همسانگرد در

غیر اینصورت ناهمسانگرد است که در این

پژوهش همسانگردی تشخیص داده شده و در

محاسبات لحاظ گردید.

فرمول کلی روش عکس فاصله وزن دار به صورت زیر تعریف می گردد: (فرمول ۴)
فرمول (۴)

$$Z^*(X_i) = \sum \lambda_i \cdot Z(X_i)$$

که در آن:

$$Z^*(X_i) = \text{مقدار تخمینی متغیر}$$

$$Z(X_i) = \text{مقدار مشاهده شده متغیر}$$

$$n = \text{تعداد مشاهدات}$$

$$\lambda_i = \text{وزن یا اهمیت نمونه } i\text{ام}$$

نتایج

در ابتدا شاخص فورنیه با توجه به پربارانترین ماه هر سال و بارندگی سالانه محاسبه گردید سپس از آنجائیکه داده‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری باید از توزیع نرمال پیروی نمایند (۱۱)، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و در مواقعی که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نداشتند، اقدام به نرمال‌سازی داده‌ها با روش‌های موجود گردید که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است.

این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌گویند، زیرا ترکیب خطی از n داده است. شرط استفاده از این تخمین گر آن است که متغیر Z از توزیع نرمال برخوردار باشد. در صورتی که متغیر مورد نظر توزیع نرمالی نداشته باشد، اما بتوان تبدیلی پیدا کرد که توزیع متغیر مورد بررسی را به توزیع نرمال تبدیل کند، آنگاه می‌توان بر داده‌های نرمال شده کریجینگ را انجام داد (۵). در این تحقیق از نرم افزار SPSS برای توزیع نرمال داده‌ها استفاده شده است.

روش عکس فاصله وزن دار (IDW):

در این روش موقعیت هر نقطه به صورت جداگانه لحاظ شده و موقعیت نسبی نقاط در نظر گرفته نمی‌شود و به نقاط با فاصله یکسان از نقطه مورد تخمین وزن یکسانی داده می‌شود و به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتری اختصاص داده می‌شود. در این روش وزن تابعی از عکس فاصله و نقاط نزدیک‌تر تأثیر بیشتری در برآورد نقطه مجهول دارند (۲۴).

جدول ۱- نتایج تجزیه آماری شاخص فورنیه

خلاصه آمار شاخص فورنیه (میلی‌متر)	داده اصلی	داده تبدیل شده (لوگ نرمال)
میانگین	۲۶/۴۶	۳/۲۲
انحراف معیار	۹/۲۹	۰/۳۰
واریانس نمونه	۸۶/۳۰۶	۰/۰۸۹۹
حداقل مقدار	۱۴/۶۰	۲/۶۸
حداکثر مقدار	۷۱/۱۰	۴/۲۶
چولگی	۲/۱۸	۰/۷۷
کشیدگی	۷	۱/۱۷

برازش مدل واریوگرام نسبت $\frac{C}{C_0 + C}$ ملاک قرار داده شد و در تمامی موارد مدل واریوگرام نمایی به عنوان مدل بهینه انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲).

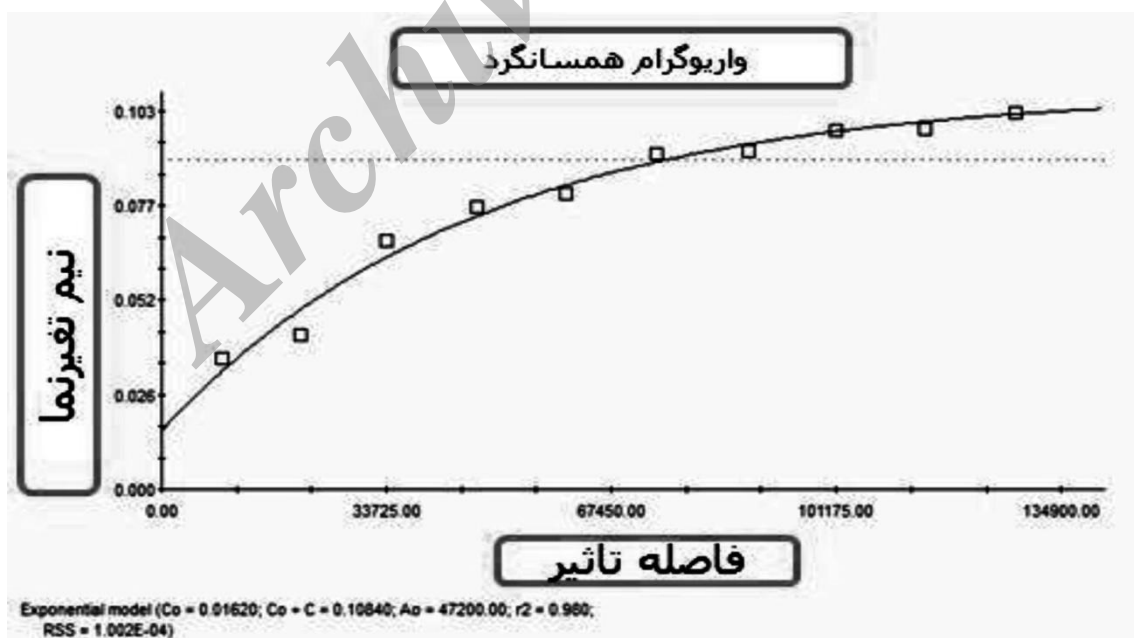
برای درون‌یابی مقادیر شاخص فورنیه از روش‌های کریجینگ و IDW استفاده شد. در رابطه با روش‌های کریجینگ از واریوگرام‌های متداول کروی، نمایی، گوسین و دایره‌ای استفاده شد (۱۱). همانطور که گفته شد برای

جدول ۲- اجزای واریوگرام

مدل	اثر قطعه ای C_0	سقف $C_0 + C$	ساختار مکانی $C / C_0 + C$	ضریب تعیین (%) r^2	شعاع تاثیر ER	$C_0 / C_0 + C$ (%)
کروی	۰/۰۲۶۲	۰/۰۹۸	۰/۷۳	۹۷	۸۰۰۰	۲۷
نمایی	۰/۰۱۶۲	۰/۱۰۸	۰/۸۵	۹۸	۴۷۲۰۰	۱۵
دایره‌ای	۰/۰۴۱۷	۰/۱۱۱	۰/۶۲	۸۷	۲۸۱۳۴/۱۹۹	۳۸
گوسی	۰/۰۳۴۳	۰/۰۹۷	۰/۶۴	۹۷	۸۰۱۹۳/۹۵۲	۳۶

نزدیکی وجود دارد و تنها ۲ درصد از داده‌های تخمینی را نمی‌توان با داده‌های مشاهده‌ای برآورد کرد.

در شکل (۳) واریوگرام نمایی با ضریب تبیین ۹۸ درصد دیده می‌شود، نشان دهنده آن است که بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی رابطه



شکل ۳- واریوگرام نمایی

جدول ۳- مقایسه روش های ارزیابی متقابل

مدل	MBE	MAE	RMSE
کریجینگ	۰/۰۹۳	۵/۳۵۶	۷/۲۳۱
IDW	۰/۰۱۶۰	۴/۸۹۱	۶/۵۹۵

در شکل زیر نقشه محیط نرم‌افزار **GS+** برای روش IDW آورده شده است.

شکل ۴ گویای این است که در جهت جنوب شرق به شمال غرب تغییرات قدرت فرساینده محدود است اما در نواحی جنوب غرب و شمال شرق این تغییرات ملموس‌تر است و دلیل آن وجود ارتفاعات پراکنده و بارش بیشتر در این مناطق است و در بخش های مرکزی استان به دلیل موقعیت خاصی که از نظر توپوگرافی وجود دارد و اکثراً شرایط جلگه‌ای، پست و هموار غالب است تغییرات نامحسوس‌تر است.

در جدول زیر کلاس‌بندی شاخص فورنیه براساس مساحت استان قزوین آورده شده است. در شکل (۵) نیز نقشه پهنه‌بندی شاخص فورنیه به روش IDW که در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شده آورده شده است.

جدول ۴- کلاس‌بندی شاخص فورنیه

شاخص فورنیه	تفسیر شاخص	تعداد ایستگاه	مساحت (km^2)	مساحت (%)
۲۲-۱۴	ناچیز	۱۸	۶۳۸۳/۷	٪۴۱
۲۶-۲۲	کم	۱۵	۳۴۹۵/۸	٪۲۳
۳۰-۲۶	متوسط	۱۰	۳۴۶۲/۶	٪۲۲
۴۶-۳۰	زیاد	۱۴	۲۲۲۵/۸	٪۱۴

به منظور بررسی و ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت مناسب‌ترین روش برای تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به ناحیه‌ای از تکنیک ارزیابی متقابل استفاده شد که با استفاده از این روش مشخص گردید که داده‌های پیش‌بینی شده حاصل از مدل تا چه اندازه مناسب می‌باشند. در روش ارزیابی متقابل در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت (۱۰). برای ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر واقعی و تخمینی نیز از معیارهای میانگین خطای اریب یا انحراف^۱ (MBE) و میانگین خطای مطلق^۲ (MAE) استفاده شد که در جدول (۳) نتایج آن آورده شده است.

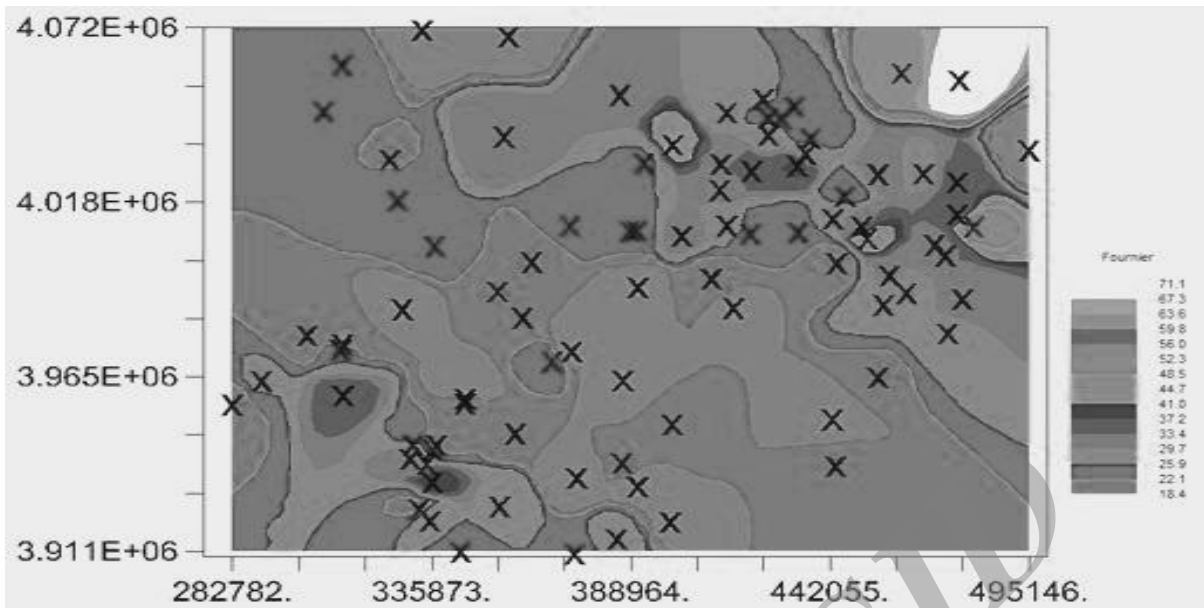
با استفاده از خطای مجذور مربع میانگین^۳ (RMSE) می‌توان به مقایسه روش‌های درون‌یابی به منظور یافتن روش مناسب‌تر و بهتر پرداخت. به طوری که مقدار خطای مجذور مربع میانگین کوچکتر باشد حاکی از دقت بیشتر آن روش برآورد است که با توجه به جدول (۳) مقایسه مقادیر RMSE هر روش مشخص گردید که روش IDW به عنوان روش مناسب‌تر نسبت به روش کریجینگ در برآورد صحیح تر مقادیر برآوردی قدرت فرساینده‌گی باران در استان قزوین مطرح می‌باشد.

¹ Mean Bias Error

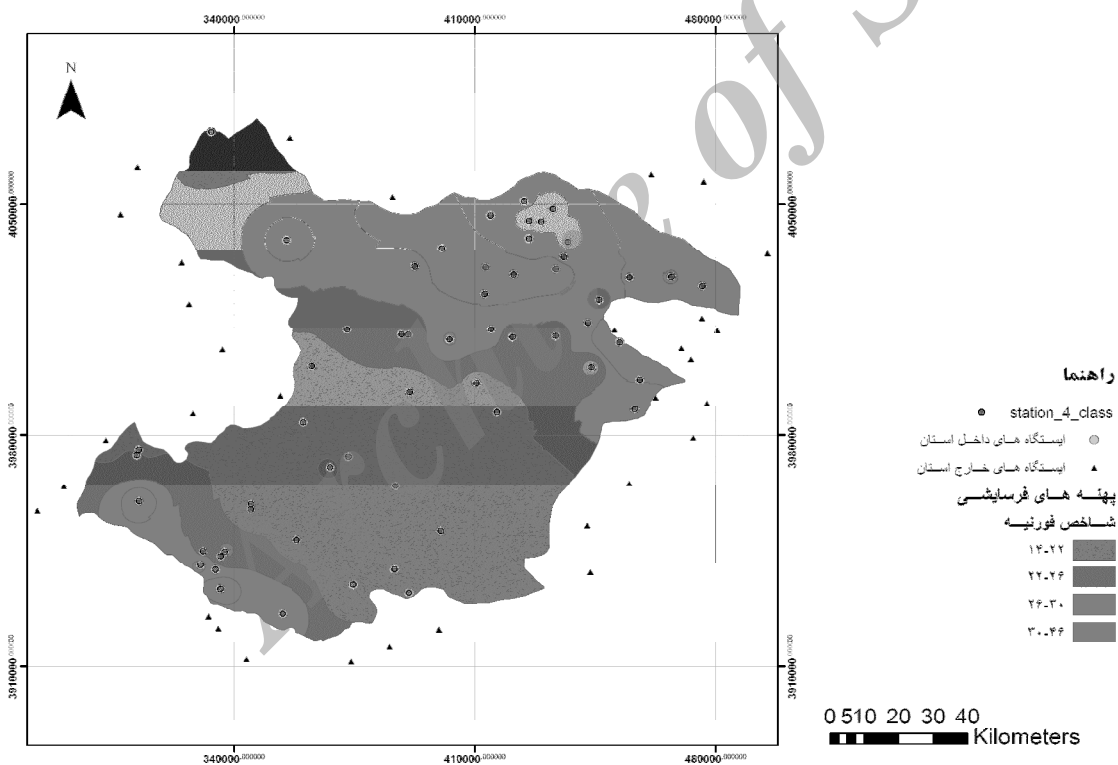
² Mean Absolute Error

³ Root Mean Square Standard Error

پهنه‌بندی قدرت فرساینده‌گی باران به روش فورنیه با استفاده از برخی روش‌های درون‌یابی..... ۱۱



شکل ۴- پهنه بندی شاخص فورنیه به روش IDW



شکل ۵- پهنه بندی شاخص فورنیه به روش IDW در محیط نرم افزار GIS

از آنجائیکه آمار مکانی به نرمال بودن داده‌ها حساس نمی‌باشد ولی نرمال بودن داده‌ها نتایج بهتری را در آنالیزها ارائه می‌دهد (۱۵) و چون

بحث و نتیجه گیری

بررسی داده‌های حاصل از شاخص فورنیه نشان داد که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند.

لذا نقشه حاصله در مقابل تحقیق حاضر که از داده‌های ۸۹ ایستگاه در داخل و مجاور استان تهیه شده از دقت کمتری برخوردار است (۱۴).
 Hakimkhani *et al.*, (2005) نیز به بررسی فرسایندهای باران در سطح کشور پرداختند و از بین شاخصهای سهل الوصول شاخص فورنیه اصلاح شده را به کار گرفتند. در بهره‌گیری از روشهای زمین آماری نتیجه با تحقیق حاضر مغایرت داشت زیرا میزان RMSE در روش کریجینگ (۱۲/۰۱) کمتر از میانگین وزنی (۱۳/۱۷) بوده است (۱۲). در صورتیکه نتایج این تحقیق با نتایج Safarrad *et al.*, (2009) مبنی بر مناسب بودن روش IDW به دلیل کمتر بودن RMSE و همچنین بهتر بودن واریوگرام نمایی از بین واریوگرام دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسین به عنوان مدل مناسب جهت برآزش با داده‌ها در مدل‌سازی فرسایندهای باران به روش فورنیه در حوضه آبریز باش قشلاق تشخیص داده شد (۲۰).
 همچنین تحقیق Stow *et al.*, (1998) مبنی بر مناسب تر بودن روش IDW نسبت به سایر روش‌ها با تحقیق حاضر مطابقت دارد (۲۱).

داده‌ها دارای چولگی نسبتاً بالا بود با استفاده از تبدیل لگاریتمی، توزیع داده‌ها به نرمال نزدیک شدند و نتایج حاصل از واریوگرافی نشان داد که داده‌ها از مدل نمایی پیروی کرده و دارای ساختار مکانی بالایی بودند. بررسی پارامترهای RMSE نشان داد که روش عکس معکوس فاصله (IDW) دارای دقت بالاتری نسبت به کریجینگ می‌باشد. همچنین در تحقیق حاضر با استفاده از شاخص فورنیه به پهنه‌بندی قدرت فرسایندهای باران در سطح استان قزوین پرداخته شد و سطح استان به ۴ پهنه فرسایشی ناچیز، کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شد که مقادیر فرسایندهای یاد شده با تغییرات باران همخوانی دارد به طوریکه مناطق با بارندگی زیاد و کم به ترتیب دارای فرسایندهای زیاد و کم هستند.
 نقشه فرسایندهای باران به طور جداگانه برای استان قزوین تهیه نشده است بطوریکه در نقشه کشوری که توسط Mohamadi (1998)، با استفاده از شاخص فورنیه تهیه شده استان قزوین جزء دسته بندی فرسایندهای کم (مقدار شاخص فورنیه برابر ۵ میلی متر) قرار گرفته است در تحقیق محمدی تعداد ایستگاه‌های هواشناسی (۹۰ ایستگاه برای کل کشور) بوده

References

- 1- Ahmadi, H., 2006. Applied Geomorphology, Vol:1, Water Erosion, University of Tehran Press , Fourth edition, 688pp.
- 2-Alimohamadpour, A., R.A. Afsari, 2012. Investigating the Accuracy and Efficiency of Fornier Index and Factorial Scoring Method in Soil Erosion Intensity Mapping and Comparing with EPM Method in Semiarid Watershed. Journal of Environmental Erosion Researches, issue 2, pp:42-52.
- 3-Anton, V., G.M. Sterk, & S. de Jong, 2010. Satellite- based estimation of rainfall erosivity for Africa. Journal of Hydrology, pp 235-241.
- 4-Behzadfar, M., H. Hasanzadeh, & M. Saberi, 2009. Estimation of Fournier Rainfall Erosivity Factor in North Khorasan Province. Fifth National Conference on Science and

Engineering of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

5-Benavides, R., F. Mnotes, A. Rubio, & K. Osoro, 2007. Geostatistical Modelling of Air temperature in a mountainous region of northern Spain. *agricultural and forest meteorology*, (146), pp 173-188.

6-Eltaif, N., M.A. Gharaibeh, F. AL-zaitawi, & M. N. Alhamad, 2010. Approximation of rainfall erosivity factors in North Jordan. Department of natural resources and environment, faculty of agriculture, Jordan University of Science and Technology. *Journal ELSEVIER*, pp 711-717.

7-Fournier, F., 1956. The effect of climatic factors on soil erosion: Estimates of solids transported in suspension in runoff. *Assoc. Int. Hydrol. Publ.* 38:6

8- Fournier, F., 1960. *Climate and erosion*. Paris university of Paris.

9- Gandomkar, A., F. Kiarostami, 2007. The Use of GIS in Estimating the Real Capacity of Rain Erosion (The Fournier Case Study for Esfahan). First Conference of Urban GIS, Shomal University, Amol.

10-Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology* 228: pp 113-129.

11- Hassanipak, A., 1998. *Planet Statistics (Geostatistical)*. Institute of Tehran University Press, Vol:1, 313 pp.

12-Hakimkhani, Sh., M. Mahdian, M. Arab khedri, & D. Ghorbanpour, 2005. Survey of Rainfall Erosivity Across the Country. Third National Congress of Erosion and Sedimentation. Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Center.

13-Lal, R., 1976. Soil erosion on alfisols in western Nigeria, Effects on rainfall characteristics. *Geoderma* 16: pp 389-401.

14-Mohamadi, J., 1998. Developing Iran Rainfall Erosivity Map Using Fournier Index and Kiriging Statistical Method. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, issue 3, pp:34-44.

15-Mohamadi, J., F. Raeesi, & A. Asadi, 2001. Geostatistical Analysis for Long-term Exclosure and Extreme Grazing Impact on Location Changes Structure of Some Soil Characteristics. Second National Conference of Pasture and Rangeland.

16-Morgan, R.P.C., 1995. *Soil erosion and conservation* Addison-Wesley. London, 198p.

17- Oduro K., 1996. Rainfall erosivity map for Ghana. Department of physical University of Ghana. *ELSEVIER Journal*. pp 161-166.

18- Oldemen, L.R., 1991-92. Global extend of soil degradation. Bi-annual report, International Soil Reference and Information Center. Wageningen, The Netherland, pp 19-36.

19-Sadeghi, S.H., Gh.R. Shojaee, 2005. Relationship between Annual Sediment Yield and Fournier Index in Manderijan Watershed in Zayandehrood Basin. Second National Conference on Watershed Management and Water Resources Management, Shahid Bahonar University.

20-Safarrad, T., S.H. Hashemi, & J. Amini, 2009. Exploitation of Geostatistical Techniques on Rainfall Erosivity Modeling Using Fournier Method (case study: Bash gheslugh Catchment area), Natinal Conference on GIS

21- Stow, C. D., K. N. Dirks, 1998. High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island: Part 1: the spatial variability of rainfall. *Journal of Hydrology*. pp 163-186.

22- Silva, A. M., 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *catena* 57: pp 251-259.

23- Tajalipour, Z., M.H. Mahdian, A. Pazira, & M. Heidarizadeh, 2008. Rainfall Erosivity Indices in Salt lake area. Tenth Iranian Congress of Soil Science.

- 24- Van , M., 1991. Characterization of soil spatial variation using geostatistics.Ph.D. thesis, university of Gent, Belgium, academic press, 168 pp.
- 25- Webster , R., &M.A. Oliver , 2000. Geostatistics for environmental scientists, Wiley press, 271 pp.

Archive of SID