

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیست و دوم، زمستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸

تاریخ بازنگری اولیه مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۰۷

صفحات: ۱۲۲ - ۱۱۱

شناسایی مکان‌های مستعد برای سیلاب با الگوهای خود همبستگی فضایی سرعت نفوذ آب در خاک

محمدصادق علیائی^{۱*}، علی باریکلو^۲، مسلم ثروتی^۳

چکیده

ویژگی‌های خاک در مقیاس بزرگ بر فرآیند میزان نفوذ آب به خاک اثر می‌گذارد و می‌تواند منجر به افزایش روان‌آب در اراضی کشاورزی شود. مدیریت پایدار اراضی برای کنترل روان‌آب نیاز به اطلاعات قابل اطمینان در مورد توزیع فضایی میزان نفوذ آب به خاک دارد. روش سنتی آنالیز خاک دشوار و وقت‌گیر و پرهزینه است. بنابراین تجزیه و تحلیل فضایی سرعت نفوذ برای تعیین مناطق حساس برای روان‌آب سطحی ضروری است. هدف اولیه از این مطالعه ارائه روش‌های جایگزین در تعیین میزان نفوذ آب به خاک در مناطق حساس به روان‌آب (لکه داغ) با استفاده از آنالیز خودهمبستگی فضایی است. این مطالعه در منطقه خدافین استان آذربایجان شرقی انجام شد. از نظر جغرافیایی منطقه مابین ۶۷۵۵۰۰ تا ۶۹۲۵۰۰ مختصات طولی و ۴۳۳۲۵۰۰ تا ۴۳۴۹۰۰۰ مختصات عرضی واقع شده است. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق ۸۸ نقطه نمونه برداری با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدنظر قرار دادن یکنواختی و نوع کاربری اراضی انتخاب شد. داده‌های نفوذپذیری نهایی با استوانه‌های مضاعف در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. یک نمونه خاک از هر نقطه برداشته و جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. برای پوشش‌دادن کل اراضی از میان‌بایی با روش کریجینگ معمولی استفاده شد، نهایتاً لایه ایجاد شده برای اعمال روش تحلیل لکه‌های داغ به محیط GIS منتقل و اقدام به تهیه نقشه‌های مورد نظر گردید. نتایج نشان داد که از بین پارامترهای مورد بررسی درصد شن، سیلت، تخلخل و ماده آلی دارای همبستگی در سطح احتمال ۱ درصد با نفوذپذیری آب در خاک هستند. در مجموع دو پارامتر درصد ماده آلی و تخلخل، موثر بر افزایش سرعت نفوذ آب در خاک ارزیابی شد و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده فاقد الگوی خود همبستگی فضایی مشخص به لحاظ آماری می‌باشد. نهایتاً روش هات‌اسپات یک روش کارا در ارزیابی روند تغییرات نفوذپذیری خاک با توجه به ویژگی‌های موثر بر آن می‌باشد..

واژگان کلیدی: آمار فضایی، تحلیل لکه‌های داغ، کشاورزی دقیق، مدیریت اراضی، لکه داغ.

m-oliaei@msrt.ir

ali_barikloo@znu.ac.ir

m.sarvati@urmia.ac.ir

^۱- استادیار، حوزه معاونت پژوهشی و فناوری، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (نویسنده مسئول)

^۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

^۳- استادیار مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه

مقدمه

حرکت آب در محیط خاک متأثر از ویژگی‌های مختلف شناخته‌شده و ناشناخته است. با اینکه میزان متوسط بارش‌ها در دهه‌های اخیر کمتر شده ولی به دلیل فعالیت‌های انسانی هر ساله سیل زیان‌های مالی و جانی بسیاری را به جوامع بشری تحمیل می‌کند. یکی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار در وقوع سیل، نوع خاک و رفتار ساختمانی آن در برابر نفوذ آب می‌باشد (محمد، ۲۰۱۰). نفوذ آب به خاک بیانگر توانایی خاک در انتقال آب به صورت عمودی است (هو و همکاران، ۲۰۰۸). پراکنش مکانی سرعت نفوذ آب به خاک در مدیریت خاک و تعیین مناطق مستعد برای سیلاب از اهمیت زیادی برخوردار است (ونگ و همکاران^۱، ۲۰۰۰). همچنین تعیین نفوذ آب به خاک در وسعت‌های زیاد با توجه به محدودیت‌های مالی از روش‌های آماری داده محور مدنظر است (محمدی و رفاهی، ۱۳۸۵). همچنین تشخیص الگوی پراکنش مکانی نفوذ آب به خاک می‌تواند در صورت وجود همبستگی بالا بین ویژگی‌ها (متغیر کمکی) به منظور تخمین بهتر پارامترهای نفوذ در مکان‌های نمونه‌برداری نشده بهره برد (کرمی و همکاران، ۲۰۱۲). سرعت نفوذ آب به خاک به شدت وابسته به شرایط سطح خاک است (والیانتراس^۲، ۲۰۱۰). این ویژگی به شدت از ویژگی‌های ذاتی خاک تأثیر می‌پذیرد (بوما^۳، ۱۹۸۳). چگونگی تغییرات مکانی این ویژگی‌های خاک تعیین‌کننده مقادیر نفوذ آب به خاک و تعیین‌کننده میزان روان‌آب و سیلاب در این مکان‌ها است.

آمار مکانی از روش‌های قابل اعتماد برای بررسی چگونگی رفتار و نوع الگوی توزیع این داده‌ها است. در این روش، مشاهدات مستقل از یکدیگر نیستند و برحسب موقعیت قرار گرفتن نقاط در فضای مطالعاتی به یکدیگر وابسته هستند (حسنی پاک، ۱۳۸۰). لذا می‌توان با بررسی مقدار، فاصله و جهت قرارگیری یک کمیت در جامعه بین داده‌ها ارتباط برقرار کرد. معمولاً نمونه‌های مجاور تا فاصله معینی در قالب ساختار مکانی به هم وابسته می‌باشند، در این حالت احتمال میزان تشابه به نمونه‌های نزدیکتر بیشتر است (عسگری، ۱۳۹۰). این فاصله حداکثر دامنه تأثیر نامیده می‌شود و در حقیقت نشان‌دهنده فاصله خودهمبستگی^۴ فضایی پدیده‌ها است. خودهمبستگی فضایی نقش به‌سزایی در آشکارسازی تغییرات ویژگی‌ها دارد (حسنی پاک، ۲۰۱۰). نخستین مرحله در تحلیل فضایی، شناسایی ساختار پراکندگی و لکه داغ^۵ داده‌ها است. نهایتاً، بر اساس رابطه فضایی آن‌ها با پراکندگی‌های دیگر، استدلال برای دلیل وجودی آن‌ها صورت می‌گیرد (علیجانی، ۱۳۹۴). افزایش بقایای گیاهی و به تبع آن افزایش ماده آلی خاک ظرفیت نفوذ آب به خاک و هدایت هیدرولیکی را بهبود بخشیده، چگالی ظاهری و فشردگی خاک را کاهش داده و به‌عنوان پوشش در سطح خاک، میزان فرسایش، سیلاب و روان‌آب را کاهش می‌دهد (مکرا و همکاران، ۱۹۸۵). واکلین^۶ و همکاران (۱۹۸۳) گزارش کردند که تلفیق اندازه‌گیری‌های صحرایی نفوذسنج فشاری با زمین‌آمار، روشی کارآمد برای تعیین تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع در یک خاک لومی است. گوپتا^۷ و

1- Vang

2- Bouma

3- Valiantzas

4- Autocorrelation

5- Hot Spot

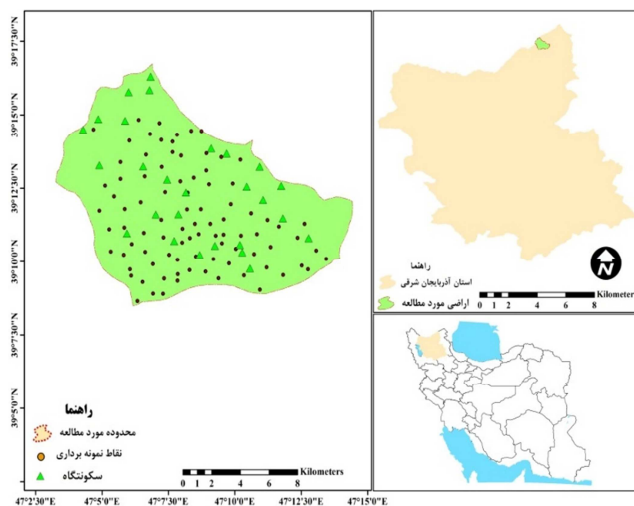
6- Vaclin

7- Gupta

همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که متغیرهای بافت، ساختمان خاک و برخی ویژگی‌های شیمیایی مانند کربن آلی می‌توانند بر فرآیند شدت نفوذ و پارامترهای مرتبط با آن اثر چشمگیری داشته باشند. داوری‌نژاد و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای مصرف کمپوست بقایای گیاه پنبه در خاک را موجب افزایش فعالیت میکروبی، پایداری ساختمان و تخلخل خاک دانستند. همچنین معدنی‌شدن ماده آلی غلظت زیادتری از نیتروژن نیتراتی را در خاک فراهم کرده است. کمپوست می‌تواند موجب افزایش تخلخل خاک و ظرفیت نگهداری آب خاک شود که می‌تواند بر میزان نفوذ آب به خاک اثرات مثبت داشته و در کنترل سیلاب موثر واقع شود (تجادا و همکاران، ۲۰۰۳). در تحقیقی زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند که از بین ویژگی‌های محیطی، ویژگی‌های خاک از موثرترین عوامل در تفکیک تیپ‌های رویشی هستند، به طوری که هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، درصد سیلت و آهک از موثرترین ویژگی‌های خاک در توزیع جغرافیایی تیپ‌های رویشی می‌باشند. همچنین بیان کردند که این ویژگی‌ها در تامین رطوبت و مواد غذایی برای گیاهان و کنترل سیلاب نقش عمده‌ای دارند. ۱۰/۲ درصد از اراضی در بخش‌های شمال، شرق و جنوب شرق لکه سرد هستند که می‌توان پایین‌ترین درصد تخلخل خاک را در این نواحی مشاهده نمود. در ۷۸/۸ درصد اراضی نیز هیچ‌گونه الگوی معناداری مشاهده نشد. هدف از انجام این تحقیق پهنه‌بندی خطر سیلاب و شناسایی نواحی مستعد پخش سیلاب و خود همبستگی فضایی پارامترهای موثر بر نفوذ آب به خاک به‌عنوان یک شاخص موثر در ایجاد سیلاب در اراضی روستایی سلین چای و قز قلعه‌سی شهرستان خداآفرین استان آذربایجان شرقی می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل بخشی از اراضی روستایی بین قز قلعه‌سی تا سلین چای در استان آذربایجان شرقی، شهرستان خداآفرین، بخش خمارلو واقع شده است. مساحت تقریبی این اراضی ۱۳۰۰۰ هکتار بوده که در مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی و مختصات ۳۹ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق ۸۸ نقطه نمونه برداری با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدنظر قراردادن یکنواختی بافت خاک و نوع کاربری اراضی انتخاب شد. داده‌های نفوذپذیری نهایی با استوانه‌های مضاعف^۱ اندازه‌گیری و در ۳ تکرار تا ثابت شدن سرعت نهایی انجام شد. همچنین از هر نقطه یک نمونه خاک سطحی جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک برداشته شد. آزمایشات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت به روش هیدرومتر (گی و اور، ۲۰۰۲)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (نلسون و سامر، ۱۹۸۲)، ذرات درشت‌تر از شن به روش حجمی، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید (نلسون، ۱۹۸۲) بر روی نمونه‌ها انجام شد.

نقشه‌ها و لایه‌های مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار سرفر^۲ تهیه و پس از پردازش در محیط نرم‌افزاری ArcGIS نسخه ۱۰/۳ به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای موثر بر نفوذ مورد استفاده قرار گرفت. بدین‌منظور برای یکنواخت شدن و پوشش‌دادن کل اراضی ۸۸ نقطه اندازه‌گیری‌شده در نرم‌افزار سرفر با کریجینگ معمولی میان‌یابی شد و لایه ایجاد شده برای تحلیل لکه‌های داغ^۳ به نرم‌افزار ArcGIS منتقل شد.

پارامترهای آمار مکانی مهم‌ترین ابزاری هستند که در توصیف و آنالیز اشکال مختلف جغرافیایی به‌کار می‌روند، همچنین می‌توان برای توصیف الگوهای مکانی حاصل از اشکال جغرافیایی بهره جست (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶). در این مطالعه به‌منظور تحلیل فضایی پارامترهای موثر بر نفوذ آب به خاک از شاخص فضایی G_i^* و G_i استفاده شد. نمایه مذکور، همبستگی نقاط موزون متمرکز و نقاط موزونی که در داخل شعاع فاصله‌ای d از نقطه‌ی موزون مبدأ باشند، اندازه‌گیری می‌کند. به‌عنوان نمونه یک پهنه‌ای به n منطقه تقسیم و موقعیت هر نقطه با یک سامانه مختصات مکانی مشخص شده باشد. هر منطقه یکی از ۸۲۳۰ یاخته درون ایران زمین در نظر گرفته می‌شود. هر نقطه در فضا

1- Double rings
2- Surfer
3- Hot Spot Analysis

فاصله و مرز یکسانی از نقاط مجاور دارد. اگر نقاط مستقل از همدیگر باشند، نشانگر نبود خودهمبستگی فضایی است، اما عکس آن همیشه صادق نیست، لذا آزمون خودهمبستگی فضایی معیار مناسبی برای ارزیابی وابستگی نقاط به- حساب می‌آید. گیتس و آرد در سال ۱۹۹۲ آماره‌ی G_i و G_i^* را به عنوان شاخصی جهت اندازه‌گیری ارتباط فضایی در حالت‌های متعدد پیشنهاد کردند. آماره‌ی $G_i(d)$ به صورت رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود.

$$G_i(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j}{\sum_j x_j} \quad j \neq i \quad (1)$$

در رابطه (۱)، $w_{ij}(d)$ متناسب با ماتریس وزن فضایی، یک یا صفر خواهد بود. یک در صورتی که نقطه مورد نظر در داخل فاصله‌ی d برای نقطه i باشد، در غیر این صورت صفر خواهد بود. در نمایه‌ی G ارتباط هر نقطه‌ای با خودش صفر و حاصل جمع وزن‌ها به صورت رابطه (۲) است.

$$W_i = \sum_{j \neq i} w_{ij}(d) \quad (2)$$

عملگر شمارنده سیگما در رابطه (۱) حاصل جمع همه x_j هایی است که در شعاع فاصله‌ای d از نقطه‌ی i قرار دارند. لازم به ذکر است در مخرج کسر حاصل جمع همه x_j ها بدون در نظر گرفتن خود x_i می‌باشد. میانگین و پراش نقطه‌ی i به کمک رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه می‌شود.

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_j x_j}{(n-1)} \quad (3)$$

$$s^2(i) = \frac{\sum_j x_j^2}{(n-1)} - [\bar{x}(i)]^2 \quad (4)$$

پراش G_i به کمک رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$Var(G_i) = \frac{W_i(n-1-W_i)}{(n-1)^2(n-2)} \left[\frac{s(i)}{\bar{x}(i)} \right]^2 \quad (5)$$

مقادیر G و G^* از طریق عمگر آماری $W_i/(n-1)$ و محاسبه ریشه‌ی دوم پراش آن استاندارد می‌شوند.

$$G_i(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j - W_i \bar{x}(i)}{s(i) \left\{ \left[\frac{(n-1)S_{1i}}{n-2} - W_i^2 \right] \right\}^{1/2}}, \quad j \neq i \quad (6)$$

اگر وزن خود نقطه i صفر در نظر گرفته شود ($w_{ii} \neq 0$)، آماره استاندارد شده G^* به کمک رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j - W_i^* \bar{x}}{s(i) \left\{ \left[\frac{(nS_{1i}^*)}{n-2} - W_i^{*2} \right] \right\}^{1/2}}, \quad j = i \quad (7)$$

در رابطه‌های ۶ و ۷، $W_i^* = W_i + w_{ii}$ ، $S_{1i} = \sum_j w_{ij}^2$ که در آن $j \neq i$ و $S_{1i}^* = \sum_j w_{ij}^2$ که در آن $j = i$ و \bar{x} و s^2 به- ترتیب میانگین و پراش نمونه هستند، مقادیر استاندارد شده G یا G^* با جدول مربوطه تفسیر می‌شوند (واکلین و همکاران، ۱۹۸۳).

برای تحلیل بهتر و شناسایی موقعیت نقاط نمونه برداری و الگوی پراکنش پارامترهای موثر بر نفوذ آب در خاک و ارائه نقشه‌های آن، از روش تحلیل لکه‌های داغ در اراضی مورد مطالعه استفاده شد. سپس نفوذپذیری در نقاط مختلف نقشه مشخص و نقشه نقطه‌ای از آن تهیه گردید. نهایتاً با توجه به ارتباط نفوذ و سیلاب نقاط حساس به سیلاب در منطقه جهت کنترل و برنامه‌ریزی مشخص شد.

یافته‌های تحقیق

جدول (۱) پارامترهای آماری و جدول (۲) همبستگی بین ویژگی‌های اراضی موثر بر نفوذپذیری آب به خاک را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات معیاری برای مقایسه تغییرات ویژگی‌هاست. بیشترین ضریب تغییرات مربوط به درصد سنگریزه (۳/۴۲) و کمترین تغییرپذیری تخلخل (۰/۷۲) می‌باشد. حداقل نفوذپذیری آب در خاک ۳/۱ و حداکثر آن ۳۴/۵ سانتی‌متر در ساعت بوده که متأثر از فرآیندهای ذاتی و مدیریتی خاک است. کمترین ضرایب همبستگی به آهک خاک (۰/۳۲) اختصاص دارد. به نظر می‌رسد، پایین بودن ضریب همبستگی ناشی از عدم تاثیر آهک در توزیع منافذ خاک، در خاک‌های تحت بررسی دارد. بیشترین مقدار همبستگی بین متغیرهای وابسته با متغیر مستقل به ویژگی‌های تخلخل و ماده آلی به ترتیب با مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۸۵ است که در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۱: پارامترهای آماری ویژگی‌های اراضی در مدل‌سازی نفوذپذیری آب در خاک

ویژگی‌های آماری	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	سنگریزه (%)	تخلخل (%)	ماده آلی (%)	آهک (%)	نفوذپذیری Cm.h^{-1}
میانگین	۳۲/۸۷	۳۲/۹۸	۳۴/۱۵	۹/۵۹	۰/۵۱	۱/۷۱	۱۷	۱۳/۵۳
حداقل	۱۰	۱۹	۷	۴/۱	۰/۲۸	۰/۱۷	۴/۸	۳/۱
حداکثر	۵۹	۴۵	۵۹	۶/۳	۰/۶۸	۴/۲۳	۳۴/۲	۳۴/۵
ضریب تغییرات	۲/۳۹	۱/۰۴	۲/۸۶	۳/۴۲	۰/۷۲	۰/۷۸	۳/۲۸	۲/۹۹
چولگی	-۰/۰۱	-۰/۱۶	-۰/۱۱	۰/۱	-۰/۳۴	-۰/۰۳	۰/۵۹	۰/۸۷
کشیدگی	-۰/۴۹	-۰/۳۸	-۰/۵۵	-۰/۹۷	۰/۵۴	-۰/۶۹	-۰/۳۵	۰/۸۴

کربن آلی به دلیل سطح ویژه زیاد و نقش در ساختمان‌سازی و توزیع منافذ خاک نقش تعیین‌کننده در نفوذ آب به خاک ایفا می‌کند (زنگ و گراس^۱، ۲۰۰۴). همبستگی درصد شن با نفوذپذیری در مقایسه با سایر ویژگی‌ها بالا بوده و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است که دلیل آن نقش ذرات شن در ایجاد منافذ درشت و شرایط مساعد برای نفوذ آب به خاک و کاهش روان‌آب و سیلاب می‌باشد. رس بدون ایجاد ساختمان عاملی در کاهش منافذ درشت و کم-شدن نفوذپذیری است (کازمان^۲ و همکاران، ۱۹۸۳). همبستگی بین درصد رس و نفوذپذیری آب به خاک در سطح

^۱- Jang and Grass

^۲- Kazman

احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست. از طرفی نیز شرکت رس در ساختمان باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود. با این حال نقش رس‌ها چه از نظر مثبت چه از نظر منفی در خاک‌های مورد مطالعه تاثیر معنی‌داری در سرعت نفوذ آب به خاک ندارد.

جدول ۲: ضرایب همبستگی پیرسون بین برخی از ویژگی‌های خاک و نفوذ آب به خاک

نفوذ آب به خاک	آهک	ماده آلی	تخلخل	سنگریزه	رس	سیلت	شن	
							۱	شن
						۱	-۰/۹۹**	سیلت
					۱	-۰/۴۱*	-۰/۸۶**	رس
				۱	۰/۱۶	-۰/۲۴	-۰/۰۴۷	سنگریزه
			۱	۰/۰۹۲	۰/۷۳**	۰/۱۱۲	-۰/۸۴**	تخلخل
		۱	۰/۹۸**	۰/۰۵۷	۰/۷۳**	-۰/۱۱	-۰/۸۶**	ماده آلی
	۱	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۰۲۵	۰/۰۴۸	۰/۰۹۲	-۰/۱۲	آهک
۱	۰/۳۲*	۰/۸۵**	۰/۸۷**	۰/۸۴**	۰/۴*	۰/۷۹**	۰/۷۴**	نفوذ آب به خاک

** همبستگی در سطح احتمال ۰/۰۱، * همبستگی در سطح احتمال ۰/۰۵

نتایج و بحث

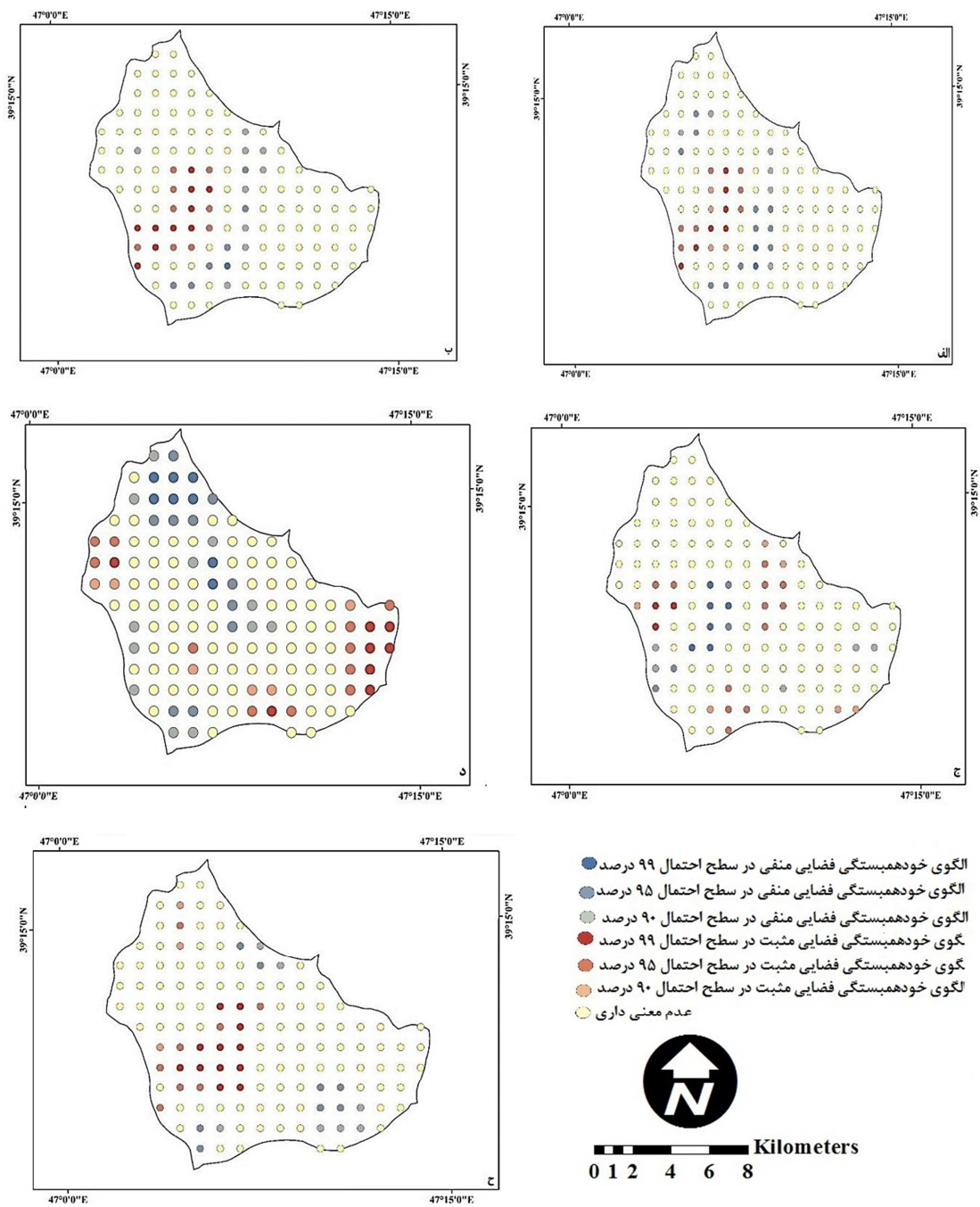
به‌منظور ارائه تصویری روشن از نحوه‌ی پراکنش و توزیع فضایی ویژگی‌های خاک در اراضی مورد مطالعه از آماره G^* استفاده شد. هسته‌های مکانی داغ محدوده‌هایی با خوشه بالا و هسته‌های سرد محدوده‌هایی با خوشه پایین را برای پارامترهای موثر بر نفوذپذیری آب به خاک در سطح معنی‌داری ۹۰ درصد نشان می‌دهد (شکل ۲). شکل (۲-الف) تغییرات الگوی خود همبستگی فضایی درصد ماده آلی خاک را نشان می‌دهد. در قسمت‌های مرکز و جنوب‌غرب منطقه، ۱۱/۲ درصد از اراضی دارای الگوی خود همبستگی مثبت بوده و با نقاط اطراف خود تشکیل لکه داغ مثبت می‌دهد که دارای بالاترین مقادیر درصد ماد آلی است. خودهمبستگی مثبت در این مناطق می‌تواند به‌دلیل پوشش گیاهی مناسب و در مناطق کشاورزی سطح مدیریت بالا باشد. منبع مهم ماده آلی در خاک بقایای گیاهی و جانوری بوده که به‌تدریج به زمین منتقل و دستخوش تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی می‌گردد. افزایش ماده آلی باعث بهبود شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی دیگر نیز می‌شود. مواد آلی باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک و افزایش سرعت نفوذ آب به خاک می‌شود و میزان رواناب را کاهش و خطر سیلاب را کاهش می‌دهد. بنابراین در قسمت مرکزی و جنوب غرب منطقه نفوذ آب به خاک زیاد و خطرات سیلاب کم است بیسواس و همکاران، ۱۹۷۰ نیز چنین نتیجه‌ای را در مورد افزایش کربن آلی و کاهش سیلاب گزارش نموده‌اند. همچنین ۸/۵ درصد از اراضی دارای الگوی

خود همبستگی منفی بوده و در بخش‌های شمال غرب و جنوب شرق منطقه واقع شده که نشان‌دهنده حضور کم-ترین مقدار ماده آلی در این نواحی می‌باشند که تحقیقات میدانی نیز موید مدیریت پایین اراضی و فقر پوشش گیاهی در این مناطق است. ۸۱/۳ درصد از اراضی نیز فاقد الگوی معنی‌داری بوده و پراکنش ماده آلی خاک در این نواحی به صورت تصادفی است. در نواحی خشک و نیمه‌خشک که تراکم پوشش گیاهی اغلب کم است، این مسئله حایز اهمیت در کنترل سیلاب است.

شکل (۲-ب) تغییرات الگوی خود همبستگی فضایی درصد تخلخل خاک را نشان می‌دهد. در قسمت مرکزی و جنوب شرقی، ۱۱/۳ درصد از اراضی مورد مطالعه دارای لکه داغ مثبت بوده و با نقاط اطراف خود تشکیل الگوی خوشه‌ای مثبت داده است که نشان دهنده مقادیر بالای درصد تخلخل در این نواحی است (جدول ۳). بر اساس نقشه پراکنش الگوی لکه داغ، مساحتی که دارای لکه داغ مثبت از نظر درصد ماده آلی بوده برای تخلخل نیز دارای الگوی مشابهی می‌باشد که نشان‌دهنده رابطه مستقیم، بین ماده آلی و درصد تخلخل است به طوری که با افزایش ماده آلی خاک، تخلخل نیز افزایش یافته است. بر اساس جدول (۲) نیز بین ماده آلی و تخلخل در سطح احتمال ۹۹ درصد همبستگی معنی‌دار و مثبت وجود دارد.

شکل (۲-ج) تغییرات الگوی خود همبستگی فضایی درصد شن خاک را نشان می‌دهد. در قسمت‌های شمال غرب، شمال شرق و جنوب شرق، ۱۳/۱ درصد از اراضی دارای لکه داغ بوده و با نقاط اطراف خود تشکیل الگوی خوشه‌ای می‌دهد که موید این مطلب است که این نقاط دارای بالاترین مقدار شن می‌باشند. نقشه پراکنش الگوی لکه داغ برای شن بر خلاف نقشه‌های ماده آلی و تخلخل که با هم همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند دارای یک همبستگی منفی می‌باشد. شن یکی از ذرات مختلف بافت بوده و بافت از ویژگی‌های مهم خاک است که از نظر مکانی متغیر و از نظر زمانی تا حدی پایدار است. بافت خاک در ظرفیت نگهداری آب، نفوذ آب به خاک و آبشویی تاثیر به‌سزایی دارد (جعفری و سرمدیان، ۲۰۰۳). همچنین ۹/۱ درصد از اراضی نیز دارای لکه سرد بود که پراکنش این نقاط بیشتر در بخش‌های مرکزی و جنوب غربی اراضی مورد مطالعه می‌باشد. همچنین بر اساس جدول (۲) درصد شن با ماده آلی و تخلخل دارای همبستگی منفی در سطح احتمال ۱ درصد است. در ۷۷/۸ درصد نیز الگوی خودهمبستگی معناداری مشاهده نشد.

شکل (۲-د) تغییرات الگوی خود همبستگی فضایی درصد سیلت را نشان می‌دهد. در بخش‌های شمال غرب، شمال شرق و جنوب شرق اراضی مورد مطالعه ۱۱/۵ درصد از اراضی دارای لکه داغ بوده و با نقاط اطراف خود تشکیل الگوی خوشه‌ای مثبت دارد که نشان‌دهنده مقادیر بالای درصد سیلت در این بخش‌ها می‌باشد. الگوی لکه داغ برای پراکنش درصد سیلت نیز مانند درصد شن بر خلاف الگوی لکه داغ ماده آلی و تخلخل بوده که دارای همبستگی مثبت و معنادار بودند. این ویژگی‌های ذاتی خاک بوده و عوامل مدیریتی و غیره تاثیری بر پراکنش آن ندارند. همچنین ۱۱/۳ درصد از اراضی دارای الگوی لکه سرد بودند که پراکنش این نقاط بیشتر در بخش‌های شمال، شمال شرق و جنوب اراضی مورد مطالعه می‌باشد و نشان دهنده پایین‌ترین مقادیر درصد سیلت در این نواحی است و تفاوت در نوع خاک و مواد مادری است. این نتیجه توسط محمدی و رفاهی (۲۰۰۶) نیز گزارش شده است. در ۷۷/۲ درصد از اراضی هیچ گونه الگوی معناداری مشاهده نشد.



شکل ۲: پراکنش الگوی لکه داغ برای ویژگی‌های خاک، الف: پراکنش ماده آلی؛ ب: تخلخل؛ ج: شن؛ د: سیلت؛ ه: سرعت نفوذ آب به خاک

جدول ۳: درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از شاخص لکه داغ

درصد پوشش					نوع الگو
نفوذ آب در خاک	تخلخل	ماده آلی	سیلت	شن	
۶/۸	۶/۴	۶/۹	۱۰/۴	۴/۶	خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد
۴/۷	۴/۹	۴/۳	۳/۲	۵/۱	خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۵ درصد
-	-	-	۳/۷	۳/۴	خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۰ درصد
۸۰/۲	۷۸/۷	۸۱/۳	۶۲/۴	۷۷/۸	فاقد الگو معنی داری
۲/۳	۳/۹	۳/۸	۹/۶	۲/۷	خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد
۴/۹	۴/۴	۴/۱	۷/۴	۴/۸	خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۵ درصد
۱/۱	۱/۸	۱/۶	۳/۳	۱/۶	خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۰ درصد

شکل (۲- ح) تغییرات الگوی لکه داغ برای نفوذپذیری آب در خاک را نشان می‌دهد. ۱۱/۵ درصد از اراضی در بخش-های مرکزی و جنوب غرب دارای لکه داغ بوده که نشان‌دهنده مقادیر بالاتر نفوذپذیری آب به خاک در این بخش‌ها نسبت به کل اراضی مورد مطالعه است. پراکنش الگوی لکه داغ برای نفوذپذیری آب به خاک مربوط به ماده آلی و تخلخل دارای الگوی مکانی تقریباً یکسان و همبستگی مثبت بوده که نشان‌دهنده رابطه مستقیم و معنادار است. ۸/۳ درصد اراضی دارای لکه سرد می‌باشند که پراکنش این نقاط بیشتر در بخش‌های شمال و شرق اراضی مورد مطالعه می‌باشد و کم‌ترین مقادیر نفوذ آب در خاک در این نواحی واقع شده است. همچنین ۸۰/۲ درصد اراضی فاقد الگوی معناداری بود. نفوذ آب به خاک در این تحقیق به عوامل متعددی مانند بافت، کاربری، مدیریت زمین، مواد آلی، تخلخل بستگی داشت که توسط زو و همکاران، (۲۰۰۸) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

بررسی پارامترهای موثر بر نفوذ آب به خاک برای کاربردهای زیست‌محیطی، مدیریت بهینه آب، کنترل و پخش سیلاب ضروری است. لذا بررسی مکانی و تخمین آن در نقاط نمونه‌برداری نشده ضروری است. یکی از شاخه‌های در حال رشد آمار فضایی و بررسی پراکندگی ویژگی‌های محیطی، خودهمبستگی فضایی است. تحلیل‌های آمار فضایی در پژوهش‌های مرتبط با نفوذ آب به خاک، برای تجزیه و تحلیل الگوهای پراکنش فضایی استفاده نشده است. در این مطالعه به بررسی روند تغییرات الگوهای خود همبستگی فضایی پارامترهای موثر بر نفوذ آب به خاک جهت شناسایی نواحی مستعد ایجاد سیلاب پرداخته شد. برای این منظور از روش تحلیل لکه‌های داغ برای بررسی الگوهای فضایی پراکنش داده‌های تخلخل، ماده آلی، شن، سیلت، رس و سنگریزه در نقاط مشخص‌شده در اراضی استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ نشان داد که تغییرات خود همبستگی فضایی درصد ماده آلی، درصد تخلخل و نفوذ آب به خاک با الگوی مشابه و دارای خود همبستگی فضایی مثبت در سطح احتمال ۹۹ درصد در مناطق مرکزی و جنوب غربی اراضی پیروی می‌کند. برای پارامترهای ذکر شده بخشی از اراضی شمالی

غربی و جنوب شرقی نقشه‌های مذکور دارای الگوی خود همبستگی فضایی منفی است. در نقشه‌های مربوط به درصد شن و سیلت که جزء خصوصیات ذاتی خاک می‌باشند و پراکنش آنها از تغییرپذیری مکانی پیروی می‌کند و بر خلاف پارامترهای تخلخل و ماده آلی خاک، عملیات کشاورزی و مدیریتی تاثیر چندانی بر این دو ویژگی ندارد. روند الگوهای خود همبستگی مثبت و منفی تشکیل شده به صورت کاملا تصادفی بود. الگوهای همبستگی برای این دو ویژگی کاملا عکس ویژگی‌های دیگر بوده و می‌توان نتیجه گرفت که در در بخش‌هایی از محدوده مورد مطالعه تاثیر این دو ویژگی ذاتی خاک بر نفوذپذیری آب در خاک منفی بوده‌است. در مجموع، مساحت بالایی از اراضی مورد مطالعه برای پارامترهای مورد بررسی و همچنین پارامتر نفوذپذیری آب به خاک، فاقد الگوی معنادار یا به عبارتی فاقد خود همبستگی فضایی معنادار به لحاظ آماری بوده و پراکنش نقاط به صورت کاملا تصادفی می‌باشد. با این تفاسیر می‌توان مناطق مرکزی و جنوب غرب را مستعد برای پخش سیلاب و مناطق جنوب شرق و شمال غرب و شمالی را مستعد برای ایجاد سیلاب در منطقه مطالعاتی معرفی نمود که نیاز به اقدامات مدیریتی از جمله ایجاد پوشش گیاهی می‌باشد.

منابع

- جعفری، محمد؛ سرمیدان فریدون. (۱۳۸۲). مبانی خاکشناسی و رده‌بندی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. ۷۱۲ ص.
- حسنی پاک، علی اصغر. (۱۳۸۹). زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. ۳۳۰ ص.
- خسروی محمود؛ عباس‌نیا محسن؛ قبادی اسدالله؛ آرمش محسن (۱۳۹۶). بررسی ارتباط مکانی بین بارش‌های همرفتی بهاره و توپوگرافی شمال غرب ایران. مجله جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۳، صص ۳۸-۲۱.
- داوری نژاد غلامحسین؛ حق نیا غلامحسین؛ لکزبان امیر (۱۳۸۳). تاثیر کودهای دامی و کمپوست غنی شده بر عملکرد گندم. مجله علوم و صنایع کشاورزی، دوره ۱۸، شماره ۱، صص ۳۴-۲۵.
- زارع چاهوکی محمدعلی؛ جعفری محمد؛ آذرنبوند حسین؛ مقدم محمدرضا؛ فرح پور مهدی؛ و شفیع‌زاده نصرآبادی مرجان (۱۳۸۶). کاربرد روش رگرسیون لجستیک در بررسی رابطه بین حضور گونه‌های گیاهی با عوامل محیطی در مراتع پشتکوه استان یزد. مجله پژوهش‌های سازندگی در منابع طبیعی، دوره ۲۰، شماره ۳، صص ۱۴۳-۱۳۶.
- عسکری، علی؛ (۱۳۹۰). تحلیل‌های آمار فضایی با ArcGIS، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، تهران.
- علیجانی بهلول؛ (۱۳۹۴). تحلیل فضایی، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۴-۱.
- کرمی علیداد؛ همایی مهدی؛ بای‌بوردی محمد؛ محمودیان شوشتری محمد؛ دواتگر ناصر (۱۳۹۱). پراکنش مکانی پارامترهای نفوذ آب به خاک در مقیاس ناحیه‌ای. مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۲ شماره ۱، صص ۳۲-۱۷.
- محمدی محمد حسین؛ رفاهی حسینقلی (۱۳۸۵). تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، دوره ۳۶، شماره ۶، صص ۵۹-۴۲.
- Biswas, T.D., M.R. Roy., B.N. Sahu., (1970), Effect of different sources of organic manures on the physical properties of the soil growing rice. J. Ind. Soc. Soil Sci. 18, pp. 233-242.
- Bouma, J., (1983), Use of soil survey data to select measurement techniques for hydraulic conductivity. Agricultural Water Management 6, pp.177-190.
- Burgos, P., E. Madejón, A. Pérez-de-Mora., F. Cabrera., (2006), Spatial variability of the chemical characteristics of a trace-element-contaminated soil before and after remediation. Geoderma, 130, pp. 157-175.
- Corwin, D.L., S.M. Lesch., J.D. Oster., S.R. Kaffka., (2006), Monitoring management induced spatiotemporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conduction. Geoderma, 131, pp. 369-387.

- Darsow, A., M.T. Schafmeister., T. Hofmann., (2009), An ArcGIS approach to include tectonic structures in point data regionalization. *Ground Water*, DOI: 10.1111/j.1745-6584.2009.00546.x.
- Folk, R. L., (1966), A Review of Grain Size Parameters, *Sedimentology*, Vol.6, pp.73-93.
- Gee G. W., Or D., (2002), Particle-size analysis. In: Warren, A.D. Eds. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Sci. Soc. Am. Inc, pp.255-295.
- Getis, A., Ord, J., (1992), The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24 (3), pp. 189-206.
- Giller, K.E., E.C. Rowe., DeRidder, N., VanKeulen, H., (2006), Resource use dynamics and interactions in the tropics: scaling up in space and time, *Agr. Syst.*, 88, pp. 8–27.
- Gupta R.K., Rudra R.P., Dickinson W.T., Elrick D.E., (1994), Modelling the spatial pattern of three infiltration parameter. *Can Agric Eng* 36, pp. 9-13.
- Hou, X., Lin, H.S., and White E.A., (2008), Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land use and their temporal changes. *Catena*, 73: 180-188.
- Kazman Z., Shainberg I., Gal M., (1983), Effect of low levels of exchangeable Na and applied phosphogypsum on infiltration rate of various soils. *Soil Science Society of America*, 135, pp. 184-192.
- MacRae, R.J., G.R. Mehys., (1985), The effect of green manuring on the physical properties of temperate area soils. *Adv. Soil Sci*, 3, pp. 71-94.
- Mallants, D., Mohanty, B.P., Vervoort, A., Feyan J., (1997), Spatial analysis of saturated hydraulic conductivity in soil with macropores. *Soil Tech*, 10, pp. 115-131.
- Mohamad, A.G. & M.A. Adam., (2010), The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land use. *Catena*, 81:97-103.
- Nelson, D. W., Sommer, L. E., (1982), Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., Sumner, M. E. Eds. *Methods of soil analysis: part 3. Chemical and microbiological properties*, Soc. Agron., Madison, pp. 539–579.
- Nelson, R.E., (1982), Carbonate and gypsum. Pp. 181-197. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Nussbaum M., Walther, L., Fraefel, M., Greiner, L., Papritz, A., (2017), Mapping of soil properties at high resolution in Pérez-Rodríguez, R., Marques, M.J., Bienes, R., (2007), Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Sci.Total Environ.*, 378, pp. 166-173.
- Prieksat, M.A., Kaspar, T.C., Ankeny, M.D., (1994), Positional and temporal change in pond infiltration in a cornfield. *Soil Science Society America Journal*, 58, pp. 181-184.
- Rossi, J., Govaerts, B., DeVos, B., Verbist, A., Vervoort, J., Poesen, B., Deckers, J., (2009), Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests- A case study of Southeastern Tanzania. *Catena*, 77, pp. 19– 27.
- Sarapatka, B., Bednáf, M., Netopil, P., (2018), Multilevel soil degradation analysis focusing on soil erosion as a basis for agrarian landscape optimization. *Soil and Water Research*, Vol. 13. No. 3. Switzerland using boosted geo additive models. *Soil*, Vol. 3. No.2.
- Tejada, M., Gonzalez, J., (2003), Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Europ. J. Agron.* 19, pp. 357-368.
- Vaezi, A.R., (2014), Modeling runoff from semi-arid agricultural lands in northwest Iran. *Pedosphere*, 24(5): 595–604.
- Valiantzas, J.D., (2010), New linearized two parameter infiltration equation for direct determination of conductivity and sorptivity. *Journal of Hydrology* 384(1–2), pp. 1–13.
- Van, G., Toit, L., Snyman, H.A., and Malan, P.J., (2009). Physical impact of grazing by sheep on soil parameters in the Nama Karoo subshrub grass rangeland of South Africa. *Journal of Arid Environments*, 73:804–810
- Vauclin, M., Vieira, S.R., Vachaud, G., Nielsen, D.R., (1983), The use of cokriging with limited field observations, *Soil Sci Soc Am J* 47, pp. 175–184.
- Vieira S.R., Nielsen. D.R., Biggar, J.W., (1981), spatial variability of field-measured infiltration rate, *Soil Sci Soc Am J* 45, pp. 1040–1048.
- Wang, G., Gertner., Parysow, P., Anderson, A.B., (2000), Spatial Prediction and uncertainty analysis of topographic factors for the revised universal soil loss equation (RUSLE), *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(3), pp. 114-123.
- Wang, X.Z., G.S. Liu., H.C. Hu., Z.H. Wang., Q.H. Liu., X.F. Liu., W.H. Hao., Y.T. Li., (2009), Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2), pp. 168–175.
- Wei, J.B., D.N. Xiao., H. Zeng., Y.K. Fu., (2008), Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China, *Environ. Geol.*, 53, pp. 1663-1672
- Zhang, C. S., McGrath, D., (2004), Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods, *Geoderma*, 119(3-4), pp. 261-275.
- Zhou, X. Lin H.S., White, E.A., (2008), Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land use and their temporal change, *Catena*, 73, pp. 180-188.

Research Article

Identification of flooding susceptible areas by soil infiltration spatial correlation patterns

Mohammad Sadegh Oliaei^{*1}, Ali Barikloo², Moslem Servati³

Received: 20-10-2018

Revised: 30-12-2018

Accepted: 26-02-2019

Abstract

Soil properties at the lands lot scale is a process that effects on infiltration rates, which can lead to an increased stormwater runoff. Sustainable land management for runoff controls requires reliable information on the spatial distribution of soil infiltration rate. The traditional method of soil analysis and interpretation are laborious, time-consuming, hence becoming expensive. Therefore spatial analysis of infiltration rate is necessary for the determination of susceptible areas for surface runoff. The purpose of this study was to propose alternative approaches in searching for infiltration rate and surface runoff hotspots. The study was conducted on an agricultural field at Khodafarin, East Azarbaijan province, Iran. It is with 675500 to 692500 longitudinal coordinates and 4332500 to 4349000 latitude coordinates. To arrive at the goal of this research, 88 sample points were selected with using a geographic information system and considering the Soil distribution pattern and land utilization. Infiltration rate data was collected from double rings method with 3 replicated at each point. Soil samples were obtained from each point and then sent to soil analyzed laboratory to determine physical and chemical properties. Kriging method was used for the interpolation of the study area. Finally, soil properties distribution layer expended in Arc GIS software that analyzing hot spot surface runoff hazard. The significant correlation of infiltration rate with soil parameter including porosity, sand, silt, and organic content. Overall, at wide distances of case study lands organic material and porosity were assessed effectively to water permeability into the soil and other measured parameters due to statistics were without specified spatial distribution. The results showed that Simulation generates equally likely sets of values for a variable, which are consistent with available in-situ measurements. The information on spatial sampling density and hotspot pattern could be useful for long-term monitoring and assessment.

Keywords: Hot spot analysis, accurate agriculture, lands management, spatial statistics.

^{1*}- Adjutancy of Research and Technology, Ministry of Science, Research and Technology, Iran.

²- Soil Science Department, University of Zanjan, Iran.

³- Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University, Iran.

References

References (in Persian)

- Alijani B.; (1394), Spatial Analysis, Environmental Impact Analysis Spatial Analysis, 1(3), pp. 1-14. [In Persian]
- Askari, A.; (1390), ArcGIS Spacecraft Statistics Analysis, Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization. [In Persian]
- Davarinejad, G.H., Haghnia, G.H., Lakzian, A., (2004), Effect of Livestock manure and enriched compost on wheat yield. *Agricultural Sciences and Technology*, 18(1), pp. 25-34. [In Persian]
- Hassanipak, A.A., (2010), Geostatistics, University of Tehran Press (UTP), 330p. [In Persian]
- Jafari, M., Sarmadian, F., (2003), *Fundamental of Soil science and Taxonomy*, University of Tehran Press (UTP), 812p. [In Persian]
- Jafari, M; Sarmedian F., (1382), *Foundations of Soil and Classification*. Tehran University Press. 712 p. [In Persian]
- Karami, A., Homae, M., Bybourdi, M., Mahmoodian Shushtari, M., Davatgar, N., (2012), Spatial Distribution of Infiltration Parameters at Regional Scale. *Water and Soil Science- University of Tabriz*, 22(1), pp. 17- 32. [In Persian]
- Khosravi M; Abbasinia M; Ghobadi A, Armesh M., (1396), Investigation of the Relation Between Spring Convective Rainfall and Northwest Topography of Iran. *Journal of Geography and Urban-Regional Development*, 23(2), pp. 38-21. [In Persian]
- Mohammadi, M.H., Refahi, H, G., (2006), Estimation of Infiltration Equations Parameters by Soil Physical Properties. *Journal of Agriculture Science*, 36(6), pp. 42- 59. [In Persian]
- Zare Chahouki, M. A., Jafari, M., Azarnivand. H., Moghaddam, M.R., Farahpour. M., Shafizadeh NasrAbadi, (2007), Application of logistic regression to study the relationship between presence of plant species and environmental factors. *Pajouhesh & Sazandegi*, 76(3), pp. 136- 143. [In Persian]

References (in English)

- Biswas, T.D., M.R. Roy., B.N. Sahu., (1970), Effect of different sources of organic manures on the physical properties of the soil growing rice. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 18, pp. 233-242.
- Bouma, J., (1983), Use of soil survey data to select measurement techniques for hydraulic conductivity. *Agricultural Water Management* 6, pp.177-190.
- Burgos, P., E. Madejón, A. Pérez-de-Mora., F. Cabrera., (2006), Spatial variability of the chemical characteristics of a trace-element-contaminated soil before and after remediation. *Geoderma*, 130, pp. 157-175.
- Corwin, D.L., S.M. Lesch., J.D. Oster., S.R. Kaffka., (2006), Monitoring management induced spatiotemporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conduction. *Geoderma*, 131, pp. 369-387.
- Darsow, A., M.T. Schafmeister., T. Hofmann., (2009), An ArcGIS approach to include tectonic structures in point data regionalization. *Ground Water*, DOI: 10.1111/j.1745-6584.2009.00546.x.
- Folk, R. L., (1966), A Review of Grain Size Parameters, *Sedimentology*, Vol.6, pp.73-93.
- Gee G. W., Or D., (2002), Particle-size analysis. In: Warren, A.D. Eds. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Sci. Soc. Am. Inc, pp.255-295.
- Getis, A., Ord, j. (1992), The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24 (3), pp. 189-206.
- Giller, K.E., E.C. Rowe., DeRidder, N., VanKeulen, H., (2006), Resource use dynamics and interactions in the tropics: scaling up in space and time, *Agr. Syst.*, 88, pp. 8-27.
- Gupta RK., Rudra RP., Dickinson WT., Elrick DE., (1994), Modelling the spatial pattern of three infiltration parameter. *Can Agric Eng* 36, pp. 9-13.
- Hou, X., Lin, H.S., and White E.A., (2008), Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land use and their temporal changes. *Catena*, 73: 180-188.
- Kazman Z., Shainberg I., Gal M., (1983), Effect of low levels of exchangeable Na and applied phosphogypsum on infiltration rate of various soils. *Soil Science Society of America*, 135, pp. 184-192.
- MacRae, R.J., G.R. Mehuys., (1985), The effect of green manuring on the physical properties of temperate area soils. *Adv. Soil Sci*, 3, pp. 71-94.
- Mallants, D., Mohanty, BP., Vervoort, A., Feyan J., (1997), Spatial analysis of saturated hydraulic conductivity in soil with macropores. *Soil Tech*, 10, pp. 115-131.
- Mohamad, A.G, & M.A. Adam., (2010), The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land use. *Catena*, 81:97-103.
- Nelson, D. W., Sommer, L. E., (1982), Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., Sumner, M. E. Eds. *Methods of soil analysis: part 3. Chemical and microbiological properties*, Soc. Agron., Madison, pp. 539-579.
- Nelson, R.E., (1982), Carbonate and gypsum. Pp. 181-197. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Nussbaum M., Walthert, L., Fraefel, M., Greiner, L., Papritz, A., (2017), Mapping of soil properties at high resolution in

- Pérez-Rodríguez, R., Marques, M.J., Bienes, R., (2007), Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Sci.Total Environ.*, 378, pp. 166-173.
- Prieksat, M.A., Kaspar, T.C., Ankeny, M.D., (1994), Positional and temporal change in pond infiltration in a cornfield. *Soil Science Society America Journal*, 58, pp. 181-184.
- Rossi, J., Govaerts, B., DeVos, B., Verbist, A., Vervoort, J., Poesen, B., Deckers, J., (2009), Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests- A case study of Southeastern Tanzania. *Catena*, 77, pp. 19- 27.
- Sarapatka, B., Bednář, M., Netopil, P., (2018), Multilevel soil degradation analysis focusing on soil erosion as a basis for agrarian landscape optimization. *Soil and Water Research*, Vol. 13. No. 3.
- Switzerland using boosted geo additive models. *Soil*, Vol. 3. No.2.
- Tejada, M., Gonzalez, J., (2003), Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Europ. J. Agron.* 19, pp. 357-368.
- Vaezi, A.R., (2014), Modeling runoff from semi-arid agricultural lands in northwest Iran. *Pedosphere*, 24(5): 595-604.
- Valiantzas, JD., (2010), New linearized two parameter infiltration equation for direct determination of conductivity and sorptivity. *Journal of Hydrology* 384(1-2), pp. 1-13.
- Van, G., Toit, L., Snyman, H.A., and Malan, P.J., (2009). Physical impact of grazing by sheep on soil parameters in the Nama Karoo subshrub grass rangeland of South Africa. *Journal of Arid Environments*, 73:804-810
- Vauclin, M., Vieira, S.R., Vachaud, G., Nielsen, D.R., (1983), The use of cokriging with limited field observations, *Soil Sci Soc Am J* 47, pp. 175-184.
- Vieira S.R., Nielsen. D.R., Biggar, J.W., (1981), spatial variability of field-measured infiltration rate, *Soil Sci Soc Am J* 45, pp. 1040-1048.
- Wang, G., G, Gertner., Parysow, P., Anderson, A.B., (2000), Spatial Prediction and uncertainty analysis of topographic factors for the revised universal soil loss equation (RUSLE), *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(3), pp. 114-123.
- Wang, X.Z., G.S. Liu., H.C. Hu., Z.H. Wang., Q.H. Liu., X.F. Liu., W.H. Hao., Y.T. Li., (2009), Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2), pp. 168-175.
- Wei, J.B., D.N. Xiao., H. Zeng., Y.K. Fu., (2008), Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China, *Environ. Geol.*, 53, pp. 1663-1672
- Zhang, C. S., McGrath, D., (2004), Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods, *Geoderma*, 119(3-4), pp. 261-275.
- Zhou, X. Lin H.S., White, E.A., (2008), Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land use and their temporal change, *Catena*, 73, pp. 180-188.