بررسی تغییرات مکانی ضرایب برخی معادلات نفوذ آب به خاک

محمد امیدی فرد [۱] و سید علی اکبر موسوی [۲]
۱ - دانشجوی سابق کارشناسی ارشدِ بخش علوم خاکدانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز ۲-استادیار بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

چکیده
آزمایش‌های نفوذ با روش تک‌حلقه در ۵۰ نقطه از خاک سری‌دانشکده (ایستگاه تحقیقاتی دانشکده‌کشاورزی دانشگاه‌شیراز) انجام و تغییرات مکانی ضرایب معادلات نفوذ بررسی شد. مدل کروی بهترین مدل نیم‌تغییرنمای تمامی ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه به‌جز ضرایب S معادله فیلیپ، K و A معادله کوستیاکوف - لوییز و ضرایب معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا بود. بیشترین وابستگی مکانی مربوط به ضریب a معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا و کمترین وابستگی مکانی مربوط به ضرایب b معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا، a معادله هورتون، S معادله فیلیپ و b معادله کوستیاکوف بود. بیشترین شعاع تاثیر مربوط به ضرایب معادله کوستیاکوف-لوییز، ضرایب S معادله فیلیپ، a معادله هورتون و b معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا بود و کمترین شعاع تاثیر مربوط به ضریب K معادله کوستیاکوف بود. روش مناسب تخمین همه ضرایب معادلات نفوذ به‌جز ضرایب S فیلیپ، b کوستیاکوف و b معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا وزن‌دهی نرمال عکس‌فاصله با توان یک بود.
واژه های کلیدی: ضرایب معادلات نفوذ، تغییرات مکانی، نیم‌تغییرنما، وابستگی مکانی

مقدمه
یکی از مهمترین ویژگی‌های خاک از لحاظ کشاورزی نفوذ آب به خاک می‌باشد. ورود آب به داخل خاک نفوذ گفته می‌شود. سرعت ورود آب به خاک (سرعت نفوذ) از عوامل مهم در طراحی سیستم‌های آبیاری، مطالعات هیدرولوژی، مدیریت منابع آب و حفاظت خاک و طراحی زهکش‌ها و کنترل فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز می‌باشد (عباسی، ۱۳۸۶). انتخاب نوع سیستم آبیاری برای هر منطقه به ویژگی‌های نفوذ آب به داخل خاک بستگی دارد. همچنین مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری نیز براساس سرعت نفوذ آب می‌باشد. بنابراین ارزیابی دقیق نفوذپذیری که تحت تاثیر ویژگی‌های مختلفی از خاک است ضروری می‌باشد. معادله‌های مختلف برای تعیین چگونگی نفوذ آب به خاک وجود دارد که برخی از آنها بر مبنای ویژگی‌های فیزیکی خاک هستند و برخی دیگر معادله‌هایی هستند که براساس ترسیم منحنی بین سرعت نفوذ و زمان تحلیل شده‌اند و ویژگی‌های فیزیکی به خصوصی از خاک را در بر نمی‌گیرند. با به کارگیری این معادله‌ها از اتلاف وقت و صرف مخارج زیاد که برای اندازه‌گیری نفوذ در مزرعه به ویژه در سطح وسیع لازم است، جلوگیری می‌شود. معادلات نفوذ به طورکلی به دو دسته تقسیم می‌شوند دسته اول معادلات تجربی که شامل معادله هورتون (۱۹۴۰)، معادله هولتان (۱۹۶۱)، معادله کوستیاکوف (۱۹۳۲)، کوستیاکوف - لوییز (۱۹۴۸)، سازمان حفاظت خاک آمریکا (۱۹۸۹) و دسته دوم معادلات تئوری که شامل معادله‌گرین آمپت (۱۹۱۱) و فیلیپ (۱۹۵۷) می‌باشد که شکل کلی آنها در جدول ۱نشان داده شده است (به نقل از نشاط و پاره‌کار، ۱۳۸۶).

جدول ۱- شرح مدل‌های نفوذ مورد بررسی و ضرایب انها*

مدل	ضرایب	معادله
گرین و امپت	K_{fs} و G	$I = K_{fs}\, t + G \ln[1+I/G]$
فیلیپ	S و A	$I = S\sqrt{t} + At$
کوستیاکوف	K و b	$I = Kt^{b}$
کوستیاکوف-لوییز	K، b و A	$I = K\, t^{b} + A\, t$
هورتون	C، m و a	$I = Ct + m(1-e^{-at})$
SCS**	a و b	$I = a\ t^{b} + ۰.۶۹۸۵$

* I نفوذ تجمعی (سانتی متر) و t زمان (دقیقه) می‌باشد. **: SCS مدل سازمان حفاظت خاک امریکا می‌باشد.

ضرایب معادلات نفوذ بر بسیاری از فرآیندهای خاک از جمله نفوذ آب به خاک، جریان آب در خاک، انتقال املاح، مواد شیمیایی و کودها در خاک موثر است به دلیل تغییرات مکانی و زمانی این ویژگی استفاده از روش‌های آماری قطعی کلاسیک برای توصیف آن به تنهایی کارا نبوده و برای توصیف دقیق این ویژگی بایستی از مدل‌های تصادفی (مدل‌های زمین‌آماری) به همراه آمارکلاسیک استفاده شود (موسوی و سپاسخواه، ۱۳۹۰). از روش‌های متداول در برآورد ویژگی‌های فیزیکی خاک، روش‌های زمین آماری است که با استفاده از الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، این ویژگی‌ها را در نقاط نمونه‌برداری نشده تخمین می‌زند. تغییرات مکانی نفوذپذیری خاک متاثر از ویژگی‌های ذاتی خاک از قبیل نوع خاک و توزیع اندازه منافذ و ویژگی‌های غیر ذاتی مانند عبور و مرور وسایل نقلیه، کشت وکار و نوع کاربری زمین می‌باشد.

مواد و روش ها

تحقیق حاضر در خاک سری دانشکده واقع در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه در ارتفاع ۱۸۱۰ متر بالای سطح دریای آزاد و در محدوده‌ی ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی انجام شد. در این پژوهش اندازه‌گیری نفوذپذیری با استفاده از روش تک حلقه انجام شد. بدین‌ترتیب که در شروع آزمایش، روی سطح زمین یک استوانه (به قطر ۶۰ سانتی‌متر) قرار داده شده و با استفاده از درپوش و وارد کردن ضربات غیرمستقیم چکش، استوانه‌ها تا عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر در زمین کوبیده شدند. در این پژوهش از ۴ ارتفاع آبی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری استفاده شد. مقدار آبی که در فواصل زمانی مختلف به استوانه افزوده می‌شود، برابر با حجم آب نفوذ یافته به خاک است. سپس از تقسیم حجم آب نفوذ یافته به خاک بر مساحت استوانه ارتفاع آب نفوذ یافته به خاک یا I بدست می‌آید تا رسیدن به شرایط پایدار، زمان و حجم آب افزوده شده (نفوذ یافته) به خاک ثبت شد. با توجه به اینکه در آبیاری معمولا ۵ سانتی متر آب روی خاک قرار می‌گیرد ضرایب معادلات نفوذ آب به خاک (معادله فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا) در ارتفاع آبی ۵ سانتی‌متر بدست آمده‌اند به منظور تعیین ضرایب مدل‌های مورد نظر، تابع هدف به صورت زیر تعریف شد (قربانی دشتکی و همکاران، ۲۰۰۹):

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} (I(m)_j - I(p)_j)^2 \quad (۱)$$

که در آن SSE: مجموع مربعات خطا ($I(m)_j$ cm^2)، $I(m)_j$: مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده در زمان j ام (cm)، $I(p)_j$: مقدار نفوذ تجمعی برآورد شده برای زمان j ام (cm)، n: تعداد مقایسه‌ها می‌باشد. ضرایب مدل‌های مورد بررسی با حداقل قرار دادن مقدار تابع هدف (SSE) و به منظور درنظر گرفتن بهترین برازش بین مقادیر برآورد شده و مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از گزینه Solver در نرم افزار Excel تعیین شد.

بدین ترتیب ۵۰ نقطه با فواصل ۴، ۸ و ۱۶ متر واقع بر الگوی نمونه برداری نسبتاً منظم در خاک مورد نظر انتخاب شد ضرایب معادلات نفوذ در نقاط مورد نظر با روش‌های تک حلقه (رینولدز و الریک، ۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد و پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها برای بررسی تغییرات مکانی داده ها، نیم‌تغییرنمای هر یک از ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار GS+ ۵.۱ محاسبه شد و مدل‌های مختلف شامل مدل‌های کروی، گوسی، نمائی و خطی به آنها برازش داده شد. سپس بهترین مدل با در نظر گرفتن معیارهای R^2 و RSS انتخاب شد و با استفاده از ضرایب بهترین مدل برازش داده شده به نیم‌تغییرنما و با استفاده از روش کریجینگ معمولی و وزن‌دهی عکس‌فاصله مقدار ویژگی‌های مورد مطالعه در نقاط نمونه برداری نشده تخمین زده شد. به منظور انتخاب روش مناسب درون‌یابی از روش ارزیابی متقابل استفاده شد و در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش تخمین استفاده شده را برآورد نمود. این کار با محاسبه شاخص‌های آماری کنترل اعتبار نظیر، ضریب تبیین(R^2)، میانگین خطای باقیمانده(MRE)، میانگین مربعات خطا(MSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده(NRMSE) و میانگین هندسی نسبت خطا(GMER) انجام شد.

(۲)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (Z_{xi}^{*} - Z_{xi})^2 \quad (۳)$$

(۴)

(۵)

که در این روابط،، و n به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت ، مقدار تخمین زده شده در موقعیت ، میانگین تمام مقادیر اندازه گیری شده و تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

نیم تغییر نماهای تجربی به طور مجزا برای هر متغیر در جهات مختلف جغرافیایی محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. نیم تغییر نما های مسطحاتی رسم شده، تفاوتی در وابستگی مکانی، بواسطه جهت قرارگیری نشان نداد و بنابراین نیم تغییرنمای همسان گرد انتخاب شد. این واقعیت نماینگر آن است که تغییرپذیری متغیرهای مورد مطالعه در جهات مختلف نسبتاً یکسان بوده و به جهت وابسته نیست و تغییرات تنها به فاصله بین نقاط وابسته است.. در جداول ۲ و ۳ ضرایب بهترین مدل برازش داده شده به نیم تغییرنمای ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه نشان داده شده است. همانگونه که نتایج نشان می دهد بهترین مدل برازش داده شده به نیم تغییرنمای تمام ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه به جز ضرایب معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا (a و b)، ضرایب S معادله فیلیپ و K و A معادله کوستیاکوف - لوییز از نوع کروی همسانگرد بود درحالی که بهترین مدل برازش یافته به نیم تغییرنمای ضرایب معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا (a و b)، ضرایب S معادله فیلیپ و K و A معادله کوستیاکوف - لوییز نمایی همسانگرد بود. نیز بهترین مدل برازش داده شده به نیم‌تغییرنمای ضریب K و b معادله کوستیاکوف را به ترتیب کروی و نمایی گزارش کردند. همچنین آنها بهترین مدل برازش داده شده به نیم تغییرنمای ضرایب S و A معادله فیلیپ را به ترتیب کروی و نمایی گزارش کردند که تنها از نظر بهترین مدل برازش داده شده به ضریب K معادله کوستیاکوف با یافته‌های این تحقیق هم‌خوانی داشت و در سایر موارد با نتایج این تحقیق هم‌خوانی نداشت نتایج نشان داد کمترین سقف در بین ضرایب نفوذ مورد مطالعه به مقدار ۰۰۰۱۰/۰ مربوط به ضریب C معادله هورتون و بیشترین سقف به مقدار ۸۰۹/۶ مربوط به ضریب a'' معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا بود که نشان دهنده تصادفی بودن یا بدون ساختار بودن ضریب a'' یا واریانس کل تمام نمونه‌هایست که در محاسبه نیم‌تغییرنمای آن به کار گرفته شده‌اند. دامنه تغییرات سقف در بین ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه به ترتیب از ۰۰۰۱۰/۰ تا ۸۰۹۰۰/۶ برای ضرایب C معادله هورتون و a'' معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا متغیر بود. کرمی و همکاران (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند که سقف برای ضرایب S و A معادله فیلیپ و ضرایب K و b معادله کوستیاکوف به ترتیب ۲۸/۰، ۰۲۳/۰، ۲۷۹/۰ و ۰۱/۰ می‌باشد. نتایج نشان داد کمترین اثر قطعه‌ای در بین ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه به مقدار ۰۰۰۰۵/۰ مربوط به ضریب C معادله هورتون است که نشان می‌دهد واریانس نسبی و حجم نمونه‌برداری برای آشکار کردن ساختارهای مکانی آن مناسب بوده است. در حالی که بیشترین اثر قطعه‌ای به مقدار ۴/۲ مربوط به ضریب a'' معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا بود که بیانگر واریانس تصادفی قوی در یک فاصله کوتاه است که می‌تواند ناشی از خطاهای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و وجود تغییرات کوتاه دامنه ویژگی مورد مطالعه در فواصل کوچکتر از کوتاهترین فاصله نمونه‌برداری باشد. دامنه تغییرات اثر قطعه‌ای ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه بین ۰۰۰۰۵/۰ تا ۴۰۰۰۰/۲ به ترتیب برای ضرایب C معادله هورتون و a'' معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا متغیر بود. کرمی و همکاران (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند که اثر قطعه‌ای برای ضرایب S و A معادله فیلیپ و ضرایب K و b معادله کوستیاکوف به ترتیب ۰۹/۰، ۰۱۱/۰، ۰۹۴/۰ و ۰۰۵/۰ می‌باشد. نتایج نشان داد کمترین شعاع تاثیر در بین ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه به مقدار ۹۶ متر مربوط به ضریب K معادله کوستیاکوف بود. که نشان می‌دهد ضریب K معادله کوستیاکوف در یک نقطه می‌تواند تا ۹۶ متر بر نقاط اندازه‌گیری مجاور تاثیر داشته باشد به عبارتی کمترین وابستگی مکانی مربوط به ضریب K معادله کوستیاکوف می‌باشد. بنابراین برای این ویژگی می‌توان فاصله نمونه‌برداری را حدود ۱۰۰ متر در نظر گرفت چون با افزایش دامنه تاثیر فواصل نمونه‌برداری افزایش یافته و تعداد نمونه‌های لازم و در نتیجه هزینه‌های لازم کمتر می‌شود. دامنه تغییرات شعاع تاثیر ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه بین ۱/۹۶ تا ۲۱۱ متر به ترتیب برای ضریب K معادله کوستیاکوف و ضرایب معادله کوستیاکوف-لوییز، a معادله هورتون، S معادله فیلیپ و b'' معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا متغیر بود. کرمی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که شعاع تاثیر برای ضرایب S و A معادله فیلیپ و ضرایب K و b معادله کوستیاکوف به ترتیب ۳۱۶۵، ۷۱۱۰، ۳۲۳۲ و ۱۴۴۱۰ متر می‌باشد. نتایج نشان داد در بین ضرایب نفوذ مورد مطالعه بیشترین نسبت اثر قطعه‌ای به سقف به مقدار ۶۴۸/۰ مربوط به ضریب a معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا بود که نشان می‌دهد از کل تغییرات مربوط به این ضریب ۲/۳۵ درصد دارای ساختار مکانی بوده در حالی که ۸/۶۴ درصد از تغییرات این ویژگی تصادفی و بدون ساختار مکانی مشخص بوده است. کمترین نسبت اثر قطعه‌ای به سقف به مقدار ۵/۰ مربوط به ضریب b معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا، ضرایب C و a معادله هورتون، ضریب S معادله فیلیپ و ضریب b معادله کوستیاکوف بود که نشان می‌دهد ۵۰ درصد از کل تغییرات مربوط به این ویژگی‌ها تصادفی و بدون ساختار مکانی بوده و ۵۰ درصد غیرتصادفی و دارای ساختار مکانی می‌باشد. با توجه به مقدار نسبت اثرقطعه‌ای به سقف نیم‌تغییرنما و براساس الگوی پیشنهاد شده به وسیله کامباردلا و همکاران (۱۹۹۴) کلاس وابستگی مکانی همه ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه متوسط تعیین شد و کلاس وابستگی مکانی قوی در هیچ یک از ضرایب معادلات نفوذ مشاهده نشد. درحالی که کرمی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که کلاس ساختار مکانی ضرایب K معادله کوستیاکوف و همچنین ضرایب S و A معادله فیلیپ را قوی گزارش نمودند البته آنان مشابه نتایج این تحقیق کلاس وابستگی مکانی ضریب b معادله کوستیاکوف را متوسط گزارش نمودند. نتایج نشان داد بیشترین تغییرپذیری ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه در مرکز منطقه مورد مطالعه می باشد و در سایر نواحی تغییرات کمتر است و ویژگی‌های مورد مطالعه از یکنواختی بیشتری برخوردارند. بیشترین ضریب S معادله نفوذ فیلیپ، ضریب A معادله فیلیپ، ضریب K معادله کوستیاکوف، ضریب b معادله نفوذ کوستیاکوف، ضریب K معادله نفوذ لوییز-کوستیاکوف، ضریب b معادله نفوذ لوییز-کوستیاکوف، ضریب b معادله نفوذ لوییز-کوستیاکوف، ضریب C معادله نفوذ هورتون، ضریب m معادله نفوذ هورتون، ضریب a معادله نفوذ هورتون، ضریب a معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا و ضریب b معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا به ترتیب در جنوب، شمال شرقی، جنوب غربی، شرق، شمال غرب، شمال غرب، شمال غربی، جنوب، جنوب، جنوب غربی و شمال غربی ناحیه منطقه مورد مطالعه و کمترین مقدار

این ویژگی ها به ترتیب در شمال شرق، جنوب، شمال، مرکز مایل به غرب، جنوب، مرکز مایل به جنوب، جنوب غربی، شمال، شمال، شمال، شمال شرق و مرکز بخش های منطقه مورد مطالعه مشاهده شد (نتایج نشان داده نشده است).

جدول ۲- ضرایب بهترین مدل برازش داده شده به نیم‌تغییرنمای ضرایب معادلات نفوذ مورد مطالعه اندازه‌گیری شده در ۵۰ نقطه از خاک سری دانشکده.

ویژگی‌های مورد مطالعه*		مدل	اثر قطعه‌ای (C) (.)	سقف (C+C) (.)	شعاع تاثیر (متر)	نسبت C./C+C.	کلاس وابستگی مکانی**	R^2	RSS
ضرایب معادله فیلیپ	S	نمایی همسان گرد	۰/۰۰۶۰۲	۰/۰۱۲۰۵	۲۱۱	۰/۵۰۰	متوسط	۰/۹۳۰	۲/۹۲E-۰۶
	A	کروی همسان گرد	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۰۷۱	۱۰۱	۰/۵۰۱	متوسط	۰/۴۳۳	۲/۲۶E-۰۸
ضرایب معادله کوستیاکوف	K	کروی همسان گرد	۰/۰۱۹۹۲	۰/۰۴۶۲۴	۹۶/۱	۰/۵۶۹	متوسط	۰/۹۵۰	۳/۵۶E-۰۷
	b	کروی همسان گرد	۱/۱۴۱۰۰	۲/۲۸۳۰۰	۱۰۱	۰/۵۰۰	متوسط	۰/۸۴۹	۵/۴۴E-۰۱
ضرایب معادله کوستیاکوف-لوبیز	K	نمایی همسان گرد	۰/۰۲۰۷۹	۰/۰۴۱۶۸	۲۱۱	۰/۵۰۱	متوسط	۰/۹۳۵	۴/۱۶E-۰۵
	b	کروی همسان گرد	۰/۰۰۲۶۷	۰/۰۰۵۳۵	۲۱۱	۰/۵۰۱	متوسط	۰/۵۶۴	۴/۹۷E-۰۶
ضرایب معادله هورتون	A	نمایی همسان گرد	۰/۱۷۲۸۰	۰/۴۰۰۶۰	۲۱۱	۰/۵۶۹	متوسط	۰/۶۴۱	۳/۸۵E-۰۴
	C	کروی همسان گرد	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱۰	۲۰۰	۰/۵۰۰	متوسط	۰/۹۸۳	۲/۳۲E-۱۲
	m	کروی همسان گرد	۰/۰۴۵۳۰	۰/۰۹۰۷۰	۱۷۶	۰/۵۰۱	متوسط	۰/۹۸۷	۳/۳۳E-۰۷
	a	کروی همسان گرد	۰/۰۰۶۹۱	۰/۰۱۳۸۳	۲۱۱	۰/۵۰۰	متوسط	۰/۶۴۶	۶/۴۱E-۰۶
ضرایب معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا	a	نمایی همسان گرد	۲/۴۰۰۰۰	۶/۸۰۹۰۰	۱۸۵	۰/۶۴۸	متوسط	۰/۹۲۴	۲/۴۶E-۰۲
	b	نمایی همسان گرد	۰/۰۶۸۱۰	۰/۱۳۶۳۰	۲۱۱	۰/۵۰۰	متوسط	۰/۸۲۹	۸/۹۷E-۰۴

a ،a ،m ،C ،A ،b ،b.K ،A.K ،S و b عبارتند از: ضریب جذب آب خاک (cm/$\sqrt{min}$)، معیاری از هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/min)، ضریب تجربی (cm/(min)$^{۰.۷۱۹}$)، ضریب تجربی (بی بعد)، ضریب تجربی (cm/(min)$^{۰.۶۴۲}$)، ضریب تجربی (بی بعد)، ضریب تجربی (cm/min)، ضریب تجربی (cm)، ضریب تجربی (۱/min)، ضریب تجربی (cm/(min)$^{۰.۹۵۰}$) وضریب تجربی (بی بعد). R^2 ضریب تبیین و RSS مجموع مربعات باقیمانده می‌باشد. *. اگر نسبت اثر قطعه‌ای به سقف یک ویژگی کمتر از ۲۵ درصد، بین ۲۵ تا ۷۵ و بیشتر از ۷۵ درصد باشد آن ویژگی به ترتیب در محدوده کلاس وابستگی مکانی قوی، متوسط و ضعیف قرار می‌گیرد (کامباردلا و همکاران، ۱۹۹۴).

۳- روش مناسب برای تخمین ضرایب معادلات نفوذ آب به خاک در خاک سری دانشکده و معیارهای محاسبه شده برای ارزیابی و دقت تخمین.

ویژگی‌های مورد مطالعه**		روش تخمین مناسب	معیارهای ارزیابی دقت تخمین* R^2	MRE	MSE	NRMSE	GMER
ضرایب معادله فیلیپ	S	کریجینگ معمولی	۰/۳۳۳	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۱۶۴	۰/۹۸۹
ضرایب معادله کوستیاکوف	A	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۵۱۹	-۰/۰۲۴	۰/۰۰۰	۰/۲۳۲	۱/۰۰
	K	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۵۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۳۳	۰/۰۸۸	۰/۹۹۵
ضرایب معادله کوستیاکوف-لوبیز	b	کریجینگ معمولی	۰/۴۴۵	-۰/۰۱۲	۱/۷۱	۰/۲۸۳	۰/۸۹۹
	K	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۴۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۲۰	-۰/۱۹۹	۰/۹۶۷
	b	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۵۱۴	-۰/۰۳۵	۰/۰۰۳	۰/۱۸۴	۱/۰۲
ضرایب معادله هورتون	A	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۴۳۶	-۰/۰۱۸	۰/۱۹۵	۰/۱۰۶	۱/۰۱
	C	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۲۷۴	-۰/۰۴۸	۵/۲۴E-۰۵	۰/۴۵۰	۰/۹۶۲
	m	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۴۸۰	-۰/۰۲۶	۰/۰۶۳	۰/۳۰۸	۰/۹۸۳
	a	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۵۱۸	-۰/۰۱۸	۰/۰۰۸	۰/۳۹۲	۰/۹۴۱
ضرایب معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا	a	وزن دهی نرمال عکس فاصله با توان یک	۰/۵۰۱	-۰/۰۱۸	۳/۳۱	۰/۳۰۷	۰/۹۷۲
	b	کریجینگ معمولی	۰/۵۰۶	-۰/۰۲۵	۰/۰۸۱	۰/۳۲۰	۰/۹۷۶

S.A ،K ،b.K ،b ،A ،". و GMER ،R^2 ،MRE ،MSE ،NRMSE به ترتیب عبارتند از: ضریب تبیین، میانگین خطای باقیمانده، میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و میانگین هندسی نسبت خطا.

a ،a ،m ،C ،A ،b و b به ترتیب عبارتند از: ضریب جذب آب خاک (cm/$\sqrt{min}$)، معیاری از هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/min)، ضریب تجربی (cm/(min)$^{۰.۷۱۹}$)، ضریب تجربی (بی بعد)، ضریب تجربی (cm/(min)$^{۰.۶۴۲}$)، ضریب تجربی (بی بعد)، ضریب تجربی (cm/min)، ضریب تجربی (cm)، ضریب تجربی (۱/min)، ضریب تجربی (cm/(min)$^{۰.۹۵۰}$) وضریب تجربی (بی بعد).

منابع

قربانی دشتکی، ش.، م. همایی و م. ح. مهدیان. ۱۳۸۹. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر تغییرات مکانی پارامترهای نفوذ آب به خاک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۴، شماره ۲، صفحات ۲۲۱-۲۰۶.

بای بوردی، م. ۱۳۷۹. فیزیک خاک. چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۱ صفحه.

حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۸۲ صفحه.

ابطحی، ع.، ن. کریمیان، و م. صلحی. ۱۳۷۰. گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفضیلی باجگاه - استان فارس، ۷۳ صفحه.

نشاط، ع. و م. پاره کار. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های تعیین سرعت نفوذ عمودی آب در خاک. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۴، شماره ۳، صفحات ۵-۱.

کرمی، ع.، م. همایی، م. بای بوردی، م. محمودیان شوشتری و ن. دواتگر. ۱۳۹۱. پراکنش مکانی پارامترهای نفوذ آب به خاک در مقیاس ناحیه‌ای. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱. صفحات ۳۱-۱۷.

موسوی، ع. ا. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۹۰. بررسی زمین آماری تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک در مکش‌های مختلف. مجموعه مقالات دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.

Rekman, J., R. Turski, and J. paluszek. ۱۹۹۸. Spatial and Temporal Variations in erodibility of loess. Soil and Tillage Res. ۶(۱, ۲): ۶۱-۶۸.

Herbst, M. and B. Diekkruger. ۲۰۰۳. Modeling the spatial variability of soil moisture in a micro-scale catchment and comparison with field data using geostatistics. Physics and Chemistry of the Earth, ۲۸: ۲۳۹-۲۴۵.

Pérez-Rodriguez, R., M.J. Marques, R. Bienes. ۲۰۰۷. Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. Science of the Total Environment, ۳۷۸: ۱۶۶-۱۷۳.

Zhang, R., P.J. Shouse, S.R. Yates and A. Kravchenko. ۱۹۹۷. Application of geostatistics in soil science. Trends in soil science, ۲: ۹۵-۱۰۴.

Glenna, N. and J. R. Carrb. ۲۰۰۳. The use of geostatistics in relating soil moisture to RADARSAT-۱ SAR data obtained over the Great Basin, Nevada, USA. Computers and Geosciences, ۲۹: ۵۷۷-۵۸۶.

Castrignano, A., L. Giugliarini, R. Risaliti and N. Martinelli. ۲۰۰۰. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. Geoderma, ۹۷: ۳۹-۶۰.

Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaee, M. H. Mahdian and M. Kouchakzadeh. ۲۰۰۹. Site-Dependence Performance of infiltration models. Water Resource Management Journal, ۲۳: ۱۵۷۳-۱۶۵۰.

Willmott, C. J., S. G. Ackleson, R. E. Davis, J. J. Feddema, K. M. Klink, D. R. Legates and C. M. Rowe. ۱۹۸۵. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysics, ۹۰: ۸۹۹۵-۹۰۰۵.

Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Karlen, R. F. Turco, A. E. Konopka. ۱۹۹۴. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, ۵۸: ۱۵۰۱-۱۵۱۱.

Abstract

Infiltration experiments were conducted on ۵۰ locations in Daneshkadeh soil series (Agricultural Experimental Station of Agricultural College, Shiraz University) using single ring method and spatial variability of infiltration equation coefficients was studied. Spherical model was the best fitted model to the semivariogram of infiltration equation coefficients except S coefficient of Philip equation, K' and A' of Lewis-Kostiakov model and coefficients of SCS model. The highest spatial dependency corresponded to the a'' coefficient of SCC model, whereas, those of b'' of SCC model, a of Horton, S of Philip and b of Kostiakov were the lowest. The highest range of influence corresponded to coefficients of Lewis -Kostiakov model, S of Philip, a of Horton and b'' of SCS, while the lowest ones corresponded to K of Kostiakov model. The suitable estimation approach for all of infiltration model coefficients except for S of Philip, b of Kostiakov and b'' of SCS models was the Inverse Distance Weighting with power of ۱.