

آنالیز روش‌های برآورد نفوذپذیری خاک در اراضی آبیاری شده با پساب شهری تصفیه شده

نصیر روشناس¹، فاطمه کاراندیش^{2*}، سید محمود طباطبایی³، علیرضا حسن‌اقلی⁴ و سلمان شریف آذری⁵

تاریخ دریافت: 1394/5/21 تاریخ پذیرش: 1394/11/14

چکیده

کیفیت آب آبیاری از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان نفوذپذیری خاک می‌باشد. نظر به استفاده گسترده از پساب‌های شهری در کشاورزی فاریاب در سال‌های اخیر، تخمین میزان نفوذپذیری با استفاده از روش مناسب در مزارع تحت آبیاری با این منابع آبی، امری ضروری در راستای اعمال صحیح مدیریت آبیاری می‌باشد. لذا در این پژوهش، معادله‌های فیلیپ، کاستیاکف، کاستیاکف-لوئیس، گرین امپت، هورتن، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و مدل‌های رگرسیون خطی در تخمین میزان نفوذپذیری ارزیابی شد. آزمایش‌های لازم در 190 هکتار از اراضی تحت کشت گندم با شش کلاس بافت خاک رس‌سیلتی، لوم‌رسی، لوم‌شنی، لوم، شن لومی و لوم‌رسی سیلتی انجام شد. آبیاری در این اراضی با استفاده از پساب تصفیه شده با قدمتی فراتر از 10 سال انجام می‌شود. کل منطقه به پیکسل‌هایی با ابعاد 150 در 150 مترمربع تقسیم شد و میزان نفوذ تجمعی در مرکز هر پیکسل با استفاده از استوانه‌های مضاعف تعیین شد. علی‌رغم وجود ارتباط معنی‌دار بین مقایره هدایت الکتریکی، درصد شن، رس، سیلت، سدیم تبادل و چگالی ظاهری، نتایج برآورد مقادیر نفوذ تجمعی با توابع انتقالی رضایت‌بخش نبود. مدل کاستیاکف و هورتن بهترین عملکرد را در بافت رس‌سیلتی داشتند در حالی که سایر مدل‌ها برای بافت لوم-رسی-سیلتی مقادیر واقع‌بینانه‌تری ارائه دادند. مدل گرین-امپت و کاستیاکف با مجذور مربعات خطا و خطای انحراف به ترتیب برابر با 0/16 و 0/57 سانتی‌متر و 0/03- و 0/04 سانتی‌متر و ضریب کارایی به ترتیب برابر با 0/74 و 0/78، بیش‌ترین انطباق را با داده‌های مشاهده‌ای نفوذ تجمعی داشتند. براساس نتایج، استفاده درازمدت از فاضلاب تصفیه‌شده، موجب تجمع بیش از حد مجاز نمک و سدیم در لایه-های سطحی خاک و در نتیجه، کاهش چشم‌گیر نفوذپذیری در تمام بافت‌های مورد بررسی در اراضی تحت آبیاری با فاضلاب شهری زابل شد.

واژه‌های کلیدی: توابع انتقالی، سدیم تبادل، گندم، فاضلاب، معادله‌های نفوذ.

مقدمه

نفوذ، به‌عنوان فرآیند اولیه ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیراشباع نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت ایفا نموده و مهم‌ترین منبع تأمین آب برای ادامه حیات گیاهان می‌باشد (Turner, 2006). از آنجایی که مدیریت سیستم‌های آبیاری و برنامه‌ریزی دوره‌های آبیاری بر اساس اطلاعات نفوذپذیری خاک منطقه صورت می‌گیرد، عدم برآورد مناسب این پارامتر باعث هدر رفت سرمایه‌های ملی خواهد شد (Emdad et al., 2003). اهمیت پارامتر نفوذپذیری خاک تا آنجایی است که کاهش بیش از حد آن موجب تقلیل معنی‌دار جذب آب، مواد غذایی، گسترش ریشه و رشد گیاه شده و متعاقباً با کاهش

عملکرد محصول، زمینه خسارات اقتصادی در بخش کشاورزی را فراهم می‌آورد (آزادگان، 1388). نفوذ آب به داخل خاک به دو روش مستقیم و غیرمستقیم قابل تعیین می‌باشد. روش‌های کرت‌های کوچک و استوانه‌های مضاعف از جمله روش‌های مستقیم بوده که انتخاب هر یک از آن‌ها به نوع سیستم آبیاری بستگی دارد (Neshat and Pareh-Kar., 2007). هزینه‌بر بودن و اتلاف زمان زیاد در تعیین میزان نفوذپذیری خاک با استفاده از روش‌های مستقیم، همواره محققان را به استفاده از روش‌های غیرمستقیم رهنمون ساخته است. در این راستا می‌توان به مدل‌های مختلفی همچون گرین و امپت (Green and Ampt., 1911)، فیلیپ (Philip et al., 1957)، کاستیاکوف (Kostiakov., 1932)، هورتون (Horton., 1940)، کاستیاکوف-لوئیس (Mezencev., 1948) و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا⁶ (SCS) (USDA-NRCS., 2005) اشاره نمود. از آنجا که استفاده از این روابط اغلب مستلزم واسنجی‌های محلی می‌باشد، لذا تحقیقات متعددی در این زمینه صورت گرفته است. رتبه‌بندی 14

از پساب تصفیه شده گزارش شده است (Coppola et al., 2004). تأثیر کیفیت آب آبیاری بر میزان نفوذپذیری خاک، لزوم تخمین مناسب این پارامتر جهت اعمال مدیریت صحیح آبیاری را مشهود می‌سازد. با این وجود، علی‌رغم لزوم استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در پایداری کشاورزی در منطقه خشک زابل، تاکنون پژوهشی در ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد نفوذ در اراضی آبیاری شده با پساب تصفیه‌شده شهری در این منطقه صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش، ضمن تعیین میزان نفوذپذیری خاک با استفاده از آزمایش استوانه‌های مضاعف، به ارزیابی مدل‌های کاستیاکوف، کاستیاکوف- لوئیس، گرین - امپت، هورتون، فیلپ و SCS و روش رگرسیون چند متغیره خطی در 190 هکتار از اراضی مجاور تصفیه‌خانه شهر زابل که با قدمتی فراتر از 10 سال با پساب تصفیه‌شده آبیاری می‌شوند، پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی و آزمایشات نفوذ

منطقه مطالعه، اراضی کشاورزی مجاور تصفیه‌خانه فاضلاب شهر زابل با کشت گندم و مساحتی بالغ بر 190 هکتار بوده که با قدمتی فراتر از 10 سال با پساب تصفیه‌شده شهری به صورت سطحی با راندمان تقریبی 40 درصد آبیاری می‌شود (شکل 1). این شهرستان دارای میانگین بارش سالانه 70 میلی‌متر بوده و از نظر طبقه‌بندی کوپن، در محدوده اقلیمی بیابانی قرار دارد.

تصفیه‌خانه شهری زابل در سال 1375 به‌منظور جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب 130 هزار مشترک آب و فاضلاب احداث و تا سال 1387 با اجرای 160 کیلومتر شبکه جمع‌آوری و 9 ایستگاه پمپاژ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. پس از آن، به دلیل افزایش جمعیت و توسعه شهری، در سال 1387 افزایش ظرفیت آن جهت پوشش قرار دادن 200 هزار مشترک مورد توجه قرار گرفت. روش تصفیه از نوع برکه‌های تثبیت بوده و مزارع اطراف این تصفیه‌خانه با استفاده از پساب خروجی از آخرین مرحله آبیاری می‌شوند. خصوصیات فاضلاب تصفیه‌شده در جدول 1 ارایه شده است.

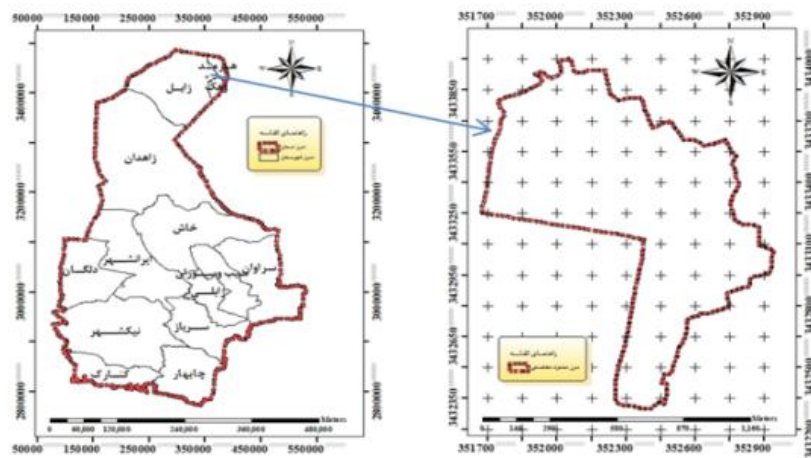
پس از تعیین محدوده مطالعاتی با استفاده از GPS، کل منطقه در محیط GIS به پیکسل‌هایی با ابعاد 150 در 150 مترمربع تقسیم و در مرکز هر پیکسل، روند تغییرات میزان نفوذپذیری با گذشت زمان، در خاک سطحی، با استفاده از آزمایش استوانه‌های مضاعف و با بهره‌گیری از فاضلاب تصفیه‌شده شهر زابل و با سه تکرار تعیین شد. دلیل استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده، استفاده معمول آن در آبیاری منطقه و حذف تأثیر احتمالی کاربرد آب با کیفیت متفاوت با آب آبیاری (فاضلاب تصفیه‌شده) بر نتایج این پژوهش بود. بر اساس معیار USDA-NRCS (2005)، اندازه‌گیری در هر نقطه جهت تعیین میزان نفوذ پایه تا زمانی که میزان تغییر نفوذپذیری از 10 درصد

مدل نفوذ با استفاده از 243 داده جمع‌آوری شده از مراتع هند و ایالات متحده در خاک‌هایی با بافت شنی درشت تا رسی نشان داد که مدل نیمه‌تجربی هولتان نسبت به مدل هورتون و مدل تجربی کاستیاکوف نسبت به کاستیاکوف اصلاح‌شده برتری داشته است (Mishra et al., 2003). نشاط و پاره‌کار (Neshat & Patehkar., 2007) نیز برتری مدل کاستیاکوف در مقایسه با مدل‌های گرین-امپت، هورتون، سازمان حفاظت خاک آمریکا و فیلپ در برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ را به اثبات رساندند (Neshat and Pateh-Kar., 2007). با این وجود، ایشان مدل‌های فیلپ و سازمان حفاظت خاک آمریکا را برای بازه‌های زمانی طولانی توصیه نمودند. ارزیابی مدل‌های نفوذ در 210 نقطه از کشور ایران حاکی از برتری مدل کاستیاکوف- لوئیس در مقایسه با سایر مدل‌های تجربی و فیزیکی می‌باشد (Parchami-Araghi et al., 2010).

عوامل متعددی مانند بافت و ساختمان خاک، رطوبت اولیه، مقدار مواد آلی، مقدار مواد جامد معلق و غیره می‌تواند میزان نفوذپذیری را تحت تأثیر قرار دهد (ابراهیمی و نایبلویی، 1378). طی پژوهشی معلوم شد میزان نفوذپذیری خاک، با افزایش شوری خاک افزایش و با افزایش میزان سدیمی بودن آن کاهش می‌یابد (بخست و همکاران، 1389). برتری مدل هورتون در برآورد نفوذپذیری در خاک‌هایی با میزان رطوبت اولیه بالا (مرادی‌باصری و همکاران، 1394) و تأثیر معنی‌دار مدت بارش در میزان نفوذپذیری تجمعی در مقایسه با پارامترهای شدت بارش، رطوبت اولیه خاک، تراکم پوشش گیاهی، نوع گیاه و شیب زمین نیز از جمله نتایج پژوهش‌های اخیر می‌باشد (Jnan et al., 2013). کیفیت آب ورودی، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان نفوذپذیری خاک در کشاورزی فاریاب می‌باشد. بحران آب در سال‌های اخیر، زمینه‌ساز استفاده از منابع آب نامتعارف مانند آب‌های شور و پساب‌ها شد. افزایش میزان نفوذپذیری در نتیجه افزایش میزان شوری آب آبیاری (Amer et al., 2010) و استعمال فاضلاب (Abu-Gohobar, 2000; Vinten et al., 1983) از جمله یافته‌های پژوهش‌های پیشین است. طی پژوهشی معلوم شد افزودن مواد آلی حاصل از آبیاری با فاضلاب در خاک لومرسی‌شنی به طور معنی‌داری منافذ درشت و هدایت هیدرولیکی را افزایش می‌دهد (Mbagwu et al., 1992). با این وجود، بررسی اثر آبیاری با پساب صنعتی مجتمع فولاد خوزستان نشان داد آبیاری با پساب منتج به کاهش معنی‌دار میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در مقایسه با آب روخانه کارون می‌شود (قلمباز و همکاران، 1387). بررسی اثر مواد جامد معلق موجود در پساب بر سه خاک شنی، لوم‌شنی و سیلتی لومی، کاهش بیش‌تر هدایت هیدرولیکی در نتیجه‌ی تجمع این مواد در سطح خاک سیلتی لومی را نشان داد (Vinten et al., 1983). هم-چنین طی پژوهشی، تشکیل یک لایه تخریبی در سطح خاک، به-عنوان دلیل اصلی کاهش میزان نفوذپذیری خاک در نتیجه‌ی استفاده

چگالی ظاهری نمونه‌های خاک در آزمایشگاه، برای استخراج توابع رگرسیون خطی، تعیین شد.

قرائت قبلی کم‌تر باشد، ادامه یافت. درصد شن، رس، سیلت، بافت خاک، هدایت الکتریکی اشباع، اسیدیته، سدیم و پتاسیم تبدالی و



شکل 1- موقعیت منطقه مطالعاتی

جدول 1- خصوصیات فاضلاب تصفیه شده و مقایسه با مقادیر استاندارد

مقادیر استاندارد برای آبیاری			کمیت	پارامتر
بد	متوسط	خوب		
>3	0/7-3	<0/7	6-8	هدایت الکتریکی (dS/m)
>9	3-9	<3	12-15	SAR
مصارف کشاورزی				
	30	100	50-70	BOD5 (mg/lit)
	60	200	200-260	COD (mg/lit)
	1000	1000	85	کلیفرم کل (MPN/100ml)
	محدوده نرمال بین 6/5-8/4		8/7	اسیدیته
	5		30	نیترات (mg/lit)
	450		2890	TDS (mg/lit)
	5		160	TSS (mg/lit)

نفوذپذیری نهایی f_o (cm min^{-1})، f_o میزان نفوذپذیری اولیه در شروع آزمایش S (cm min^{-1})، ضریب جذبی خاک (تابع مکش خاک) و ضریبی است که بیانگر هدایت هیدرولیکی منطقه انتقال بوده و مقدار آن کوچکتر و یا مساوی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌باشد. ضرایب c و d در رابطه SCS تابعی از شماره منحنی‌های نفوذ بوده و با انجام آزمایش‌های فراوان برای خاک‌های آمریکا به‌دست آمده است. همچنین a ، b و k ضرایب تجربی بوده که به صورت محلی و با استفاده از داده‌های صحرایی به‌دست آمده در این پژوهش، واسنجی شد.

علاوه بر این مدل‌ها، از روابط رگرسیون خطی نیز در برآورد میزان نفوذپذیری در زمان‌های مختلف آزمایش استفاده شد. بدین منظور، ابتدا ماتریس همبستگی پیرسون بین پارامترهای سرعت نفوذ

معادله‌های نفوذ

معادله‌های استفاده شده در این پژوهش شامل مدل‌های کاستیاکوف، کاستیاکوف-لوئیس، گرین-امپت، هورتون، فیلپ و SCS به شرح روابط ذیل می‌باشند (Kirkham., 2005; Parchami et al., 2013):

$$I = St^{0.5} + K_2 t \quad \text{فیلپ (1)}$$

$$I = at^b \quad \text{کاستیاکوف (2)}$$

$$I = at^b + f_f t \quad \text{کاستیاکوف لوئیس (3)}$$

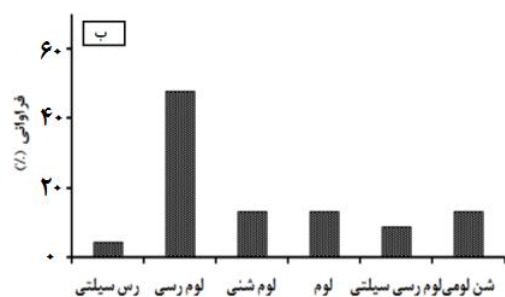
$$I = ct^d + 0.6985 \text{ (SCS)} \quad \text{سازمان حفاظت خاک آمریکا (4)}$$

$$I = f_f + (f_o - f_f) \exp(-Kt) \quad \text{هورتون (5)}$$

$$t = \frac{I}{f} + b \quad \text{گرین امپت (6)}$$

که در آن‌ها، I نفوذ تجمعی (cm)، t زمان (دقیقه)، f_f میزان

گرین امپت، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و هورتن را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، دلیل تغییرات ضرایب تجربی در یک مدل مشخص، حتی در یک بافت ثابت را می‌توان به تغییرات مکانی وسیع خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، حتی در یک سطح کوچک نسبت داد (Uloma et al., 2014). لذا، دامنه تغییرات وسیع‌تر ضریب تجربی *a* در مدل کاستیاکف-لوئیس نشان‌دهنده حساسیت بالاتر این مدل به تغییرات مذکور بوده و در نهایت، منتج به اختلاف چشم‌گیر میزان خطای استاندارد و انحراف از معیار آن در مقایسه با سایر مدل‌ها شد. مقدار ضریب تجربی *a* در مدل کاستیاکف اغلب بالاتر از 0/5 گزارش شده است (Hartley., 1992). نزدیک بودن میانگین مقادیر این ضریب به میزان ضریب جذبی *S* در مدل فیلپ، وابستگی آن را به خصوصیات فیزیکی خاک نشان می‌دهد (Philip., 1957;) در معادله Haverkamp et al., 1977) به‌علاوه، میزان ضریب K_s در معادله فیلپ، اغلب با مقدار نفوذپذیری نهایی در معادله هورتن یکسان بود که این نتیجه با یافته‌های پیشین مطابقت دارد (Neshat and Pareh-Kar., 2007).



شکل 2- نقشه پراکنش مکانی بافت خاک (الف) و هیستوگرام توزیع بافت خاک (ب) در منطقه مطالعه

معادله‌های نفوذ با استفاده از متوسط مقادیر ضرایب تجربی در معادله مورد نظر به شرح جدول 3 استخراج شد. علاوه بر آن، روند تغییرات نفوذپذیری در طول دوره آزمایش، با استفاده از مدل‌های مختلف و برای بافت لومرسی (بافت غالب منطقه) به عنوان نمونه در شکل 3 ارایه شده است. میزان تغییرات پارامترهای تجربی در مدل کاستیاکف-لوئیس و هورتن در بافت‌های مختلف خاک، بیش‌تر از سایر مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش بود. تأثیر معنی‌دار بافت خاک بر تغییر ضرایب معادله‌های تجربی در پژوهش‌های متعددی گزارش شد (Uloma et al., 2014; Chu and Miguel., 2005,) Fakhre Nikcheh et al., 2014; Neshat and Pareh-Kar., 2007).

و میزان پارامترهای درصد شن، رس، سیلت، هدایت الکتریکی اشباع، اسیدیته، سدیم و پتاسیم تبدیلی و چگالی ظاهری در محیط برنامه SPSS تعیین و سپس به استخراج روابط رگرسیون خطی چندمتغیر در محیط برنامه مذکور پرداخته شد.

معیارهای ارزیابی

مقایسه روش‌های مختلف بر اساس سه معیار میانگین خطای انحراف¹ و ریشه میانگین مربعات خطا² و ضریب کارایی مدل به شرح روابط زیر صورت گرفت (Parchami et al., 2013; Ghorbani Dashtaki et al., 2009; Nash and Sutcliffe., 1970):

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - P_i}{n} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (8)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (9)$$

که در آن‌ها، O_i و P_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده میزان نفوذ (یا سرعت نفوذ) در زمان i ام، \bar{O}_i میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده میزان نفوذ (یا سرعت نفوذ) در زمان i ام و n تعداد داده‌ها می‌باشد. مقادیر کم‌تر معیارهای MBE و RMSE و هم-چنین مقادیر نزدیک‌تر به یک برای پارامتر EF نشان‌دهنده برتری مدل خواهد بود.

نتایج و بحث

استخراج معادله‌های نفوذ

نقشه بافت خاک و هیستوگرام توزیع بافت خاک در منطقه مطالعاتی در شکل 2 ارایه شده است. منطقه مطالعاتی دارای شش بافت خاک مشتمل بر رس سیلتی، لومرسی، لوم‌شنی، لوم، لومرسی-سیلتی و شن لومی بود. در حدود 55/6 درصد از مساحت منطقه دارای بافت لومرسی بوده و بافت‌های لوم‌شنی، شن لومی و لوم هر یک با داشتن وسعتی معادل 11/1 درصد از کل منطقه مطالعاتی در رتبه دوم قرار داشتند. هم‌چنین، بافت رس-سیلتی کم‌ترین مساحت را در سطح منطقه اشغال نمود (3/7 درصد).

نظر به تنوع بافتی در منطقه مطالعاتی، استخراج معادله‌های تجربی نفوذ در کلاس‌های مختلف بافت موجود در این پژوهش صورت گرفت. جدول 2، میزان پارامترهای آماری مربوط به ضرایب تجربی در هریک از معادله‌های کاستیاکف، کاستیاکف-لوئیس، فیلپ،

1- Mean Bias Error (MBE)

2- Root Mean Square Error (RMSE)

جدول 2- پارامترهای آماری در بررسی دامنه تغییرات ضرایب تجربی معادله‌های نفوذ

مدل	ضریب تجربی	پارامتر آماری			
		حداقل	حداکثر	میانگین	خطای استاندارد
کاستیاکف	a	0/077	0/719	0/352	0/044
	b	0/488	0/885	0/646	0/019
کاستیاکف - لویس	a	0/567	215/570	57/322	11/9
	b	-0/512	0/639	-0/306	0/452
فیلیپ	S	0/102	1/130	0/401	0/057
	Ks	0/002	0/015	0/008	0/0009
گرین امپت	a	0/009	0/249	0/078	0/013
	b	-0/011	0/012	0/001	0/0001
SCS	d	0/053	0/204	0/122	0/008
	d	0/618	0/792	0/735	0/011
هورتون	K	-0/041	-0/012	-0/017	0/001
					0/005

(Wues et al., 2006). بر اساس جدول 4، کم‌ترین میزان همبستگی بین مقادیر نفوذ پایه و اسیدیته خاک (R=0/07) به‌دست آمد. برای استخراج روابط رگرسیونی با استفاده از نتایج جدول 4، میزان شن به عنوان عاملی مهم در تغییر نوع بافت خاک در تمام روابط در نظر گرفته شد. توابع انتقالی برتر استخراج شده برای میزان نفوذ پایه به عنوان نمونه در جدول 5 ارائه شد. همچنین، جهت برآورد میزان نفوذ تجمعی، این توابع برای تمام زمان‌های آزمایش استخراج شد. بر اساس جدول 5، تابع 6 متغیره مشتمل بر پارامترهای شن، چگالی ظاهری، سیلت، سدیم تبادل، هدایت الکتریکی و درصد رس بیش‌ترین انطباق را با مقدار مشاهداتی نفوذ پایه داشت (R=0/63). دامنه تغییرات میزان ضریب همبستگی (R) بین 0/56 تا 0/63 متغیر بود. به‌طور کلی، دلیل اصلی پایین بودن مقادیر R را می‌توان به طبیعت بسیار تغییرپذیر فرآیند نفوذ و نیز وابستگی آن به ویژگی‌های غیر ذاتی خاک همچون کاربری اراضی نسبت داد (Sy., 2006).

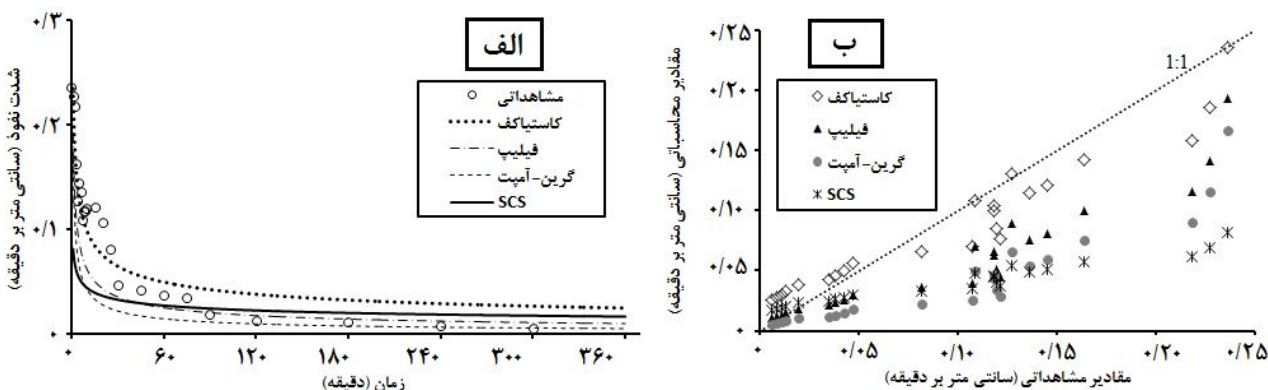
به‌منظور استخراج توابع انتقالی، ضرایب همبستگی پیرسون در ماتریس کوواریانس بین مقدار نفوذ پایه و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استخراج گردید که نتایج در جدول 4 ارائه شده است. ارتباط معنی‌دار بین مقادیر نفوذ پایه با میزان هدایت الکتریکی (Emdad et al., 2003)، سدیم تبادل (Hadas and Frenkel, 1982; Rhoades et al., 1992; Ersahin et al., 2003) و ذرات معدنی خاک (Wuest et al., 2006) مطابق با یافته‌های پژوهش‌های پیشین می‌باشد. از بین ذرات معدنی خاک، بیش‌ترین همبستگی بین مقادیر نفوذ پایه و ذرات شن وجود داشت. اگرچه در اراضی آیش، وجود ذرات رس به‌دلیل خاصیت بالای جذب آب و تشکیل منافذ ریز مهم‌ترین عامل کاهش حرکت آب در خاک می‌باشد (Sharver et al., 2002)، لیکن تأثیر منافذ درشت و پایدار به وجود آمده در خاک در نتیجه‌ی وجود ذرات شن در مزارع، بر میزان نفوذپذیری از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد

جدول 3- معادله‌های برآورد نفوذ تجمعی در کلاس‌های مختلف بافت خاک

مدل ^{**}						بافت [*]
هورتون	SCS	گرین - امپت	فیلیپ	کاستیاکوف-لویس	کاستیاکوف	
$I = 0/2 + 0/198 \exp(0/013t)$	$I = 0/053t^{0/618} + 0/6985$	$i = 0/042/I - 0/01$	$I = 0/573t^{0/002} + 0/5t$	$I = 129t^{0/454} + 0/002t$	$I = 0/216t^{0/546}$	SiC
$I = 0/008 + 0/232 \exp(0/016)$	$I = 0/113t^{0/732} + 0/6985$	$i = 0/068/I + 0/001$	$I = 0/395t^{0/5} + 0/008t$	$I = 73/54t - 0/382 + t$	$I = 0/387t^{0/618}$	CL
$I = 0/013 + 0/187 \exp(0/02t)$	$I = 0/158t^{0/774} + 0/6985$	$i = 0/045/I + 0/009$	$I = 0/265t^{0/5} + 0/013t$	$I = 25/44t^{-0/242} + 0/013t$	$I = 0/312t^{0/758}$	SL
$I = 0/007 + 0/93 \exp(0/017t)$	$I = 0/077t^{0/699} + 0/6985$	$i = 0/01/I + 0/005$	$I = 0/233t^{0/5} + 0/007t$	$I = 15/052t^{-0/279} + 0/007t$	$I = 0/085t^{0/722}$	SiCL
$I = 0/012 + 0/354 \exp(0/017t)$	$I = 0/183t^{0/785} + 0/6985$	$i = 0/135/I + 0/005$	$I = 0/312t^{0/5} + 0/012t$	$I = 25/734t^{0/032} + 0/012t$	$I = 0/48t^{0/732}$	LS
$I = 0/007 + 0/293 \exp(0/017t)$	$I = 0/125t^{0/752} + 0/6985$	$i = 0/09/I - 0/001$	$I = 0/514t^{0/5} + 0/007t$	$I = 31/313t^{-0/375} + 0/007t$	$I = 0/455t^{-0/375}$	L

* رس سیلتی (SiC)، لوم رسی (CL)، لوم شنی (SL)، لوم رسی سیلتی (SiCL)، شن لومی (LS) و لومی (L)

** نفوذ تجمعی I (cm)، زمان t (min)



شکل 3- نحوه تغییرات مقادیر نفوذپذیری (الف) و تطابق داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی (ب) در بافت لومرسی در طول دوره آزمایش با مدل‌های مختلف

جدول 4- ضرایب همبستگی پیرسون بین میزان نفوذ پایه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
								1
								سرعت نفوذ اولیه (1)
							1	0/52
								سدیم (2)
							1	0/18
								اسیدته (3)
							1	0/35
								هدایت الکتریکی (4)
							1	0/38
								چگالی ظاهری (5)
							1	0/91
								شن (6)
							1	0/88
								رس (7)
							1	0/66
								سیلت (8)
							1	0/60
								سرعت نفوذ نهایی (9)
							1	0/60
								0/48
								0/60
								0/61
								0/46
								0/07
								0/58
								0/14

نسبت داد (Ghorbani Dashtaki., 2007). علی‌رغم وجود چنین معیایی، تناسب استفاده از توابع انتقالی در برآورد میزان نفوذپذیری در برخی مطالعات گزارش شد (Parchami-Araghi et al., 2010; Ebrahimi and Nayebloei., 2011).

دلیل دیگر را می‌توان عدم توانایی مدل‌های رگرسیون خطی در استخراج روابط غیرخطی موجود بین ویژگی‌های دیریافت و زودیافت دانست (Shukla et al., 2003). همچنین، خطای برآورد در خاک‌های درشت بافت را می‌توان به تأثیر تخلخل در نفوذ آب به خاک و عدم لحاظ شاخصی کمی برای بیان چگونگی رفتار منافذ درشت خاک

جدول 5- روابط رگرسیون خطی برای برآورد میزان نفوذ پایه

R	تابع	تعداد متغیرها
0/60	$F_f=(0/003)+(1\times 10^{-4})\text{Sand}$	1
0/62	$F_f=(-0/17)+(5/811\times 10^{-5})\text{Sand}+(0/016)\text{R}_b$	2
0/59	$F_f=(-0/014)-(2/36\times 10^{-5})\text{Sand}+(0/019)\text{R}_b-(4/435\times 10^{-3})\text{Silt}$	3
0/57	$F_f=(-0/023)-(4/058\times 10^{-6})\text{Sand}+(0/025)\text{R}_b+(2/246\times 10^{-3})\text{Silt}-(6/269\times 10^{-5})\text{Na}$	4
0/56	$F_f=(-0/02)-(3/846\times 10^{-5})\text{Sand}+(0/023)\text{R}_b+(2/246\times 10^{-3})\text{Silt}-(1/059\times 10^{-5})\text{Na}+(2/7972)\text{EC}$	5
0/63	$F_f=(-0/025)-(8/937\times 10^{-5})\text{Sand}+(0/023)\text{R}_b-(7/011\times 10^{-5})\text{Silt}+(1/059\times 10^{-5})\text{Na}-(8/083\times 10^{-3})\text{EC}+(5/246\times 10^{-5})\text{Clay}$	6

F_f^* نفوذ پایه (cm/min)، Sand درصد شن، R_b چگالی ظاهری (gr/cm³)، Silt درصد سیلت، Na سدیم تبادل (mg/lit)، EC هدایت الکتریکی (ds/m)، Clay درصد رس
 ** R ضریب همبستگی

مختلف بافت خاک بر اساس شاخص‌های منتخب نشان داد بعد از مدل رگرسیون خطی برای تمام کلاس‌های بافتی، مدل گرین-آمپت

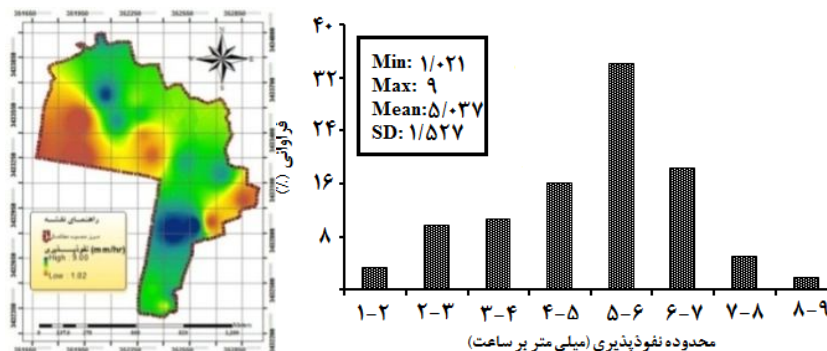
ارزیابی معادله‌های استخراج شده نفوذپذیری ارزیابی مقادیر برآورد شده میزان نفوذپذیری در کلاس‌های

(محمدی و رفاهی، 1384). با این وجود، کارایی پایین‌تر مدل فیزیکی فیلیپ نسبت به مدل گرین‌امپت را می‌توان به مدت زمان آزمایش نسبت داد. نشاط و پاره‌کار بیان داشتند که برآورد میزان نفوذپذیری با استفاده از مدل فیلیپ در سطح وسیع‌تر و در درازمدت منتج به نتایج معقول‌تری می‌شود (Neshat and Pareh-Kar, 2007).
 مدل‌های کاستیاکوف لوئیس و هورتن نتایج غیرمعقولی را در برآورد میزان نفوذ تجمعی در منطقه مطالعاتی ارائه دادند. کارایی ضعیف مدل هورتن در مطالعات نشاط و پاره‌کار نیز گزارش شد (Neshat and Pareh-Kar., 2007). در حقیقت، فرضیات و پارامترهای به کار رفته در معادله‌های تجربی نفوذ به‌نحوی است که در یک شرایط معین، مدلی خاص دارای عملکرد بهتری در مقایسه با بقیه خواهد بود (Mishra et al., 2003; Ghorbani-Dashtaki et al., 2008).

به جز بافت لوم سنی و لوم، بهترین برآورد را از میزان نفوذ تجمعی در سایر بافت‌ها داشته و غالباً مدل‌های کاستیاکوف و SCS با اختلاف کمی در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول 6). هم‌چنین، مقادیر نفوذ برآورد شده با مدل SCS در بافت‌های لوم و لوم‌سنی بیش‌ترین انطباق را با مقادیر مشاهداتی نفوذ تجمعی داشت. در پژوهشی، برتری مدل گرین‌امپت در اراضی کشاورزی گزارش شده است (Turner et al., 2006). برتری مدل گرین‌امپت نسبت به سایر مدل‌های تجربی را می‌توان به ماهیت این مدل‌ها نسبت داد. مدل‌های مبتنی بر فیزیک خاک اغلب از معادله‌های مربوط به قوانین فیزیکی تبعیت نموده و مختص به منطقه‌ای خاص نمی‌باشند (Bennett., 1974). در حالی که مدل‌های تجربی که در شرایط زمانی و مکانی خاصی استخراج شده، ممکن است در منطقه‌ای دیگر از کارایی لازم برخوردار نباشد. نتایج برخی مطالعات پیشین نیز برتری مدل‌های فیزیکی را در مقایسه با مدل‌های تجربی نشان می‌دهد.

جدول 6- ارزیابی معادله‌های نفوذ و رابطه رگرسیون خطی در برآورد میزان نفوذ تجمعی بر مبنای معیارهای ارزیابی

بافت	معیار	مدل					
		کاستیاکوف	کاستیاکوف-لوئیس	فیلیپ	گرین‌امپت	SCS	هورتون
ر_2	MBE	0/04	52/6	2/04	-0/03	-0/45	-0/47
	RMSE	0/57	56/5	2/72	0/16	0/92	2/42
	EF	0/78	0/14	0/69	0/74	0/82	0/28
	رتبه نهایی	3	6	5	2	4	5
ر_1	MBE	0/18	39/4	0/71	0/10	-0/99	2/14
	RMSE	1/30	46/8	2/19	0/74	1/6	16/3
	EF	0/81	0/25	0/89	0/71	0/74	0/41
	رتبه نهایی	2	6	3	2	4	5
ر_3	MBE	0/57	21/4	-2/98	-0/14	-1/32	9/99
	RMSE	2/9	25/1	4/1	1/02	2/23	52/9
	EF	0/68	0/64	0/89	0/58	0/81	0/62
	رتبه نهایی	3	5	4	3	2	6
ر_4	MBE	0/07	12/6	0/41	0/001	-0/33	1/16
	RMSE	0/51	14/6	0/61	0/06	0/54	7/4
	EF	0/9	0/41	0/97	0/85	0/91	0/61
	رتبه نهایی	3	7	5	2	4	6
ر_5	MBE	0/30	34/9	-4/28	-0/16	-2/05	5/72
	RMSE	2/87	42/9	5/83	1/58	3/24	36/4
	EF	0/81	0/34	0/86	0/76	0/80	0/41
	رتبه نهایی	2	5	3	2	3	4
ر_6	MBE	-0/04	28/3	-1/07	-0/15	-1/42	2/88
	RMSE	1/97	38/5	2/31	1/88	1/21	25
	EF	0/91	0/2	0/94	0/89	0/93	0/45
	رتبه نهایی	2	5	3	3	2	4



شکل 4- پراکنش مکانی (الف) و هیستوگرام (ب) نفوذپذیری نهایی در منطقه مطالعاتی

جدول 7- مقایسه میزان نفوذپذیری در خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده و مقادیر استاندارد

بافت خاک	سرعت نفوذپذیری نهایی	مقادیر استاندارد برای سرعت نفوذپذیری نهایی*
رس سیلتی	1/02	2/5 (0/3 - 5)
لوم رسی	4/60	8 (2/5 - 15)
لوم شنی	7/49	25 (13 - 76)
لوم رسی سیلتی	4/20	-
شن لومی	7/33	-
لوم	4/17	13 (8-20)

* علیزاده (1385)

بر اساس جدول 6، مدل‌های کاستیاکف، کاستیاکف لوئیس و رگرسیون خطی در مجموع، عملکرد پایدارتری داشته و در تمام بافت‌ها، منتج به بیش‌برآورد مقدار نفوذتجمعی شدند. پرچمی و همکاران نیز به تخمین بالاتر از مقادیر واقعی میزان نفوذ آب به داخل خاک در نتیجه‌ی استفاده از مدل کاستیاکف-لوئیس اشاره کردند (Parchami-Araghi et al., 2013). استفاده از مدل کاستیاکف و هورتن اغلب زمینه بیش‌برآورد میزان نفوذ را فراهم نمود. با این وجود، این مدل‌ها به ترتیب در بافت‌های لومی و رس‌سیلتی میزان نفوذتجمعی را کم‌تر از حد واقعی آن برآورد نمودند. مدل‌های گرین-امپت و فیلیپ رفتار متفاوتی در بافت‌های مختلف خاک داشته و از روند یکسانی تبعیت نمی‌کنند. اما روش SCS در تمام بافت‌ها منتج به کم‌برآورد نمودن میزان نفوذتجمعی شد. جدول 6 نشان می‌دهد که در مجموع، مدل کاستیاکف و هورتن بهترین عملکرد را در بافت رس‌سیلتی داشتند؛ در حالی که سایر مدل‌ها، مقادیر واقع‌بینانه‌تری برای میزان نفوذتجمعی در بافت لوم‌رسی سیلتی ارائه دادند.

تحلیل مکانی نفوذپذیری نهایی بر اساس مدل منتخب بررسی پراکنش مکانی میزان نفوذپذیری در منطقه مطالعه نشان داد که محدوده تغییرات سرعت نفوذ نهایی بین 1 تا 9 میلی‌متر بر ساعت بوده و در بیش از 34 درصد از کل منطقه، مقدار آن بین 5 تا 6 میلی‌متر در ساعت قرار داشت (شکل 4). مقایسه میزان نفوذپذیری متوسط در کلاس‌های بافت موجود با مقادیر توصیه شده نشان می‌

دهد که به جز کلاس بافتی لوم رسی، میزان نفوذپذیری نهایی در سایر کلاس‌های بافتی کمتر از مقادیر استاندارد می‌باشد (جدول 7). اگرچه میزان نفوذپذیری در بافت لوم رسی در محدوده معمول آن (15-2/5 میلی‌متر بر ساعت) قرار دارد، اما میزان آن حدود 42/5 درصد کم‌تر از مقدار متوسط گزارش شده برای آن (8 میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد.

با اینکه نتایج برخی از پژوهش‌های پیشین حاکی از بهبود خصوصیت نفوذپذیری خاک در اثر استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده می‌باشد (Vinten et al., 1983)، لکن کاهش نفوذپذیری در نتیجه-ی استفاده از فاضلاب در مطالعات دیگری نیز گزارش شد (Abo-Gohobar., 2000). وجود ارتباط معنی‌دار بین مقادیر هدایت الکتریکی و میزان سدیم قابل تبادل با میزان نفوذپذیری نهایی خاک (جدول 4) و توجه به وضعیت پراکنش هدایت الکتریکی در خاک (شکل 5) می‌تواند نتایج این بخش را توجیه کند. بر اساس شکل 5، در بیش از 66/8 درصد از منطقه، میزان هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک بالاتر از 4ds/m بوده و در زمره خاک‌های شور محسوب می‌شود. تجمع نمک و به ویژه سدیم در خاک می‌تواند با تخریب و شکستن ساختمان خاک (Emdad et al., 2003)، پراکنندگی کلونیدها و ذرات رس و تورم آن‌ها و در نتیجه کاهش پایداری ساختمان خاک (Hadas and Frenkel., 1982) و تضعیف شرایط فیزیکی آن (ابراهیمی و نایب‌لویی، 1378) موجب کاهش نفوذپذیری شود. نتایج این پژوهش نیز تاکید بر افزایش میزان تجمع سدیم در لایه‌های

منطقه امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. به علاوه، توجه به میزان نفوذپذیری واقعی خاک در زمان آبیاری و تنظیم شدت دبی در واحد سطح متناسب با مقدار این پارامتر در جلوگیری از تخریب بیش‌تر خصوصیات خاک ضروری می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به ارزیابی مدل‌های تجربی (کاستیاکف، کاستیاکف-لوئیس، هورتن و SCS)، مدل‌های فیزیکی (گرین-امپت و فیلیپ) و توابع انتقالی در برآورد سرعت نفوذ و میزان نفوذ تجمعی در 190 هکتار از اراضی مجاور تصفیه‌خانه شهر زابل پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بعد از مدل رگرسیون خطی، استفاده از مدل فیزیکی گرین-امپت، اغلب نتایج معقول‌تری را برای هر دو پارامتر شدت نفوذپذیری و میزان نفوذ تجمعی ارائه می‌کند. پایه و اساس علمی و تحلیلی مدل‌های فیزیکی و وضع آن‌ها برای جریان تک‌بعدی و همگن در سطح خاک، زمینه برتری آن‌ها را در منطقه مطالعه فراهم نمود. به‌بیانی دیگر، سیستم غالب آبیاری سطحی در بازه‌ای طولانی در منطقه مطالعه می‌تواند توجیهی برای دقت بالاتر این مدل باشد. از سویی دیگر، آبیاری با فاضلاب موجب تجمع بیش از حد مجاز نمک و کاتیون‌هایی مانند سدیم، با خاصیت پراکنده ساختن سطح خاک و تخریب ساختمان آن، استفاده از مدل‌های تجربی در این منطقه را با اشکال مواجه ساخت. مدل‌های تجربی، اغلب در شرایطی خاص توسعه داده شده‌اند. لذا، تفاوت شرایط مزارع حاضر با شرایط استخراج این معادله‌ها می‌تواند زمینه کاهش کارایی آن‌ها را فراهم آورد. بررسی پراکنش مکانی میزان نفوذپذیری نشان داد در بخش اعظمی از منطقه مطالعاتی، میزان نفوذ پایه به دلیل شوری بالاتر از 4 ds/m و تجمع سدیم در لایه‌های سطحی خاک کاهش چشم‌گیر داشته است. این در حالی است که در حال حاضر، آبیاری در منطقه، بدون توجه به ویژگی‌های نفوذپذیری خاک و تناسب آن برای کاشت گندم صورت می‌گیرد. این مساله به ویژه در سال‌های اخیر، موجب کاهش معنی‌دار میزان عملکرد گندم شده است. لذا تخمین دقیق نفوذپذیری و رعایت اصول زیست‌محیطی با جدیتی بیش‌تر با هدف حفظ اراضی تحت کشت در منطقه مطالعه، امری ضروری و درخور توجه می‌باشد.

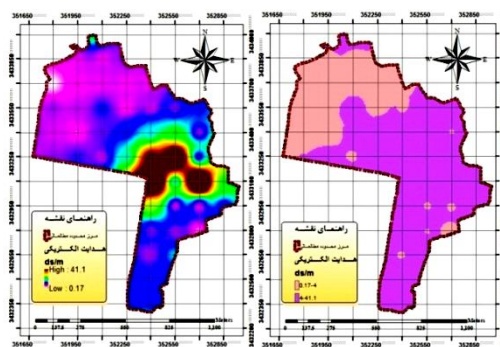
منابع

آزادگان، ب. 1388. تاثیر تراکم خاک‌های زراعی بر نفوذپذیری و کارایی مصرف آب در منطقه‌ی پاکدشت. مجله‌ی آبیاری و زهکشی ایران. 3: 2، 60-70.

حسن‌اقلی، ع، میرابزاده، م. 1384. بررسی چگونگی تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در نتیجه اجرای عملیات آبیاری با

سطحی خاک دارد. افزایش میزان هدایت الکتریکی و سدیم تبدلی در نتیجه‌ی استعمال طولانی مدت فاضلاب در اراضی کشاورزی در مطالعات دیگری نیز گزارش شد (Pina et al., 2009; Ivan et al., 2010).

علاوه بر SAR، حضور عناصر مغذی در فاضلاب نیز می‌تواند زمینه کاهش نفوذپذیری خاک را فراهم آورد. اگرچه در آغاز استعمال فاضلاب، ورود این عناصر به خاک به دلیل تسریع رشد قارچ‌ها و دیگر جاندارن زنده و در نتیجه، ایجاد حفره‌هایی در سطح خاک می‌تواند باعث افزایش میزان نفوذپذیری شود، لکن تجمع آن‌ها در لایه‌های سطحی در دراز مدت به‌ویژه در حضور باکتری‌های هوازی، باعث تجزیه مواد آلی و کاهش پایداری خاکدانه‌ها و در نهایت کاهش میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و نفوذپذیری خواهد شد (Gupta et al., 1977; Nadav et al., 2012). یکی دیگر از عوامل اصلی کاهش میزان نفوذپذیری در نتیجه‌ی استفاده درازمدت از فاضلاب را می‌توان به تجمع مواد جامد معلق در سطح خاک نسبت داد (حسن‌اقلی و همکاران، 1384). تشکیل یک لایه تخریبی در نتیجه‌ی این مواد در لایه‌های سطحی باعث کاهش حجم منافذ، گنجایش نگهداشت آب و در نهایت کاهش هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری خاک خواهد شد (Coppola et al., 2004). طی پژوهشی، دلیل اصلی انسداد منافذ به تجمع ذرات جامد معلق فاضلاب در خاک، رشد فعالیت‌های میکروبی روی دیواره‌های منافذ، حضور مواد ژله‌ای غیرآلی حاصل شده از تجزیه کلسیم و واکنش آن با سیلیکون موجود در فاضلاب، فروپاشی منافذ درشت و در نهایت رسوب کربنات کلسیم نسبت داده شده است (Coppola et al., 2004).



شکل 5- پراکنش مکانی میزان هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک در سطح منطقه مطالعاتی

لذا با توجه به کاهش میزان نفوذپذیری از یک سو و تخریب کیفیت خاک از سویی دیگر، مانند فراتر رفتن میزان شوری در عصاره اشباع خاک از حد آستانه قابل تحمل گیاه گندم (6/5 ds/m)، به عنوان کشت غالب در منطقه، و تجمع بالای سدیم در لایه‌های سطحی خاک، اصلاح خاک به‌منظور پایداری کشاورزی آبی در این

2014. Efficiency of different infiltration models in different land use and soil classes using rainfall simulator. *Journal of Water and Soil Knowledge*. 24.1:183-193.
- Coppola, A., Santini, A., Botti, P., Vacca, S., Comena, V and Severino, G. 2004. Methodological approach for evaluating the response of soil hydrological behavior to irrigation with treated municipal wastewater. *Journal of Hydrology*. 292:114-134
- Ghorbani-Dashtaki, Sh., Homaei, M and Mahdian, M.H. 2009. Estimating the infiltration parameters using neural network. *Journal of Water and Soil*. 23.1: 185-198.
- Green, W.H and Ampt, G.A. 1911. Studies of soil physics: I. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Science*. 4:1-24.
- Gupta, S.C., Dowday, R.H and Larson, W.E. 1977. Hydraulic and thermal properties of sandy soil influenced by incorporation of sewage sludge. *Soil Science Society of American Journal*. 41: 601-605.
- Hadas, A.H and Frenkel, H. 1982. Infiltration as affected by long-term use of sodic-saline water for irrigation. *Soil science society of American Journal*. 46.2: 524-530.
- Hartley, D.M. 1992. Interpretation of Kostiaikov infiltration parameters for borders. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 118.1: 156-164.
- Haverkamp, R., Kutilek, M., Parlange, J.Y., Rendon, L and Krejca, M. 1988. Infiltration under ponded conditions: 2. Infiltration equations tested for parameter time-dependence and predictive use. *Soil Science*. 145.5: 317-329.
- Horton, R.E. 1940. Approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Society of American*. 5: 399-417.
- Jnan, W., Pute, W and Xining, Z. 2013. Soil infiltration based on bp neural network and grey relation analysis. *Brazilian Soil Science Society*. 37: 97-105.
- Kirkham, M.B. 2005. *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Elsevier Academic Press. London.
- Kostiaikov, A.N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity for studying it from a dynamic point of view for purpose of amelioration. Translated from International Congress on Soil Science. 17-21.
- Mezencev, V.J. 1948. Theory of formation of the surface runoff. *Meteorology. I gidrologia*. 3: 33-46 (in Russian).
- Mishra, K., Tyagi, V and Singh, P. 2003. Comparison of infiltration models. *Hydrological Processes* 17: 2629-2652.
- فاضلاب خانگی و پساب تصفیه شده‌ی آن. علوم کشاورزی. 108-99: (11)4.
- بخست، س، پذیرا، ا، همایی، م. 1389. تغییرات نفوذپذیری بر اثر شرای متغیر شوری و شوری-قلیائیت خاک. اولین کنگره‌ی بین-المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک، هوا. کرمان.
- محمدی، م. ح و رفاهی، ح. ق. 1384. تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک. علوم کشاورزی ایران. 36,6: 1398-1391.
- مرادی باصری، ح، قربانی دشتکی، ش، خداوردی لوح، خلیل مقدم، ب، گیوی، ج. 1394. مقایسه‌ی کارایی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک در خاک‌های ورتیسول و غیرورتیسول. پژوهش آب ایران. 5,8: 196-187.
- ابراهیمی، ک، نایب‌لویی، ف. 1387. نفوذپذیری خاک‌ها و وابستگی آن‌ها با مشخصات فیزیکی و شیمیایی مربوطه، مطالعه‌ی موردی: مزرعه‌ی پردیس ابوریحان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اهواز.
- قلمباز، س، برومند نسب، س و کشکولی، ج. ع. 1387. اثر آبیاری با پساب بر روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک. اولین همایش بهره‌برداری بهینه از منابع آب استان لرستان، خرم‌آباد. شهریور.
- Abo-Gohobar, H. M. 2000. Influence of irrigation water quality on soil infiltration. *Irrigation Sciences*. 14: 15-19.
- Amer, K.H. 2010. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. *Agricultural Water Management*. 97: 1553-1563.
- Bennett, J.P. 1974. Concepts of mathematical modelling of sediment yield. *Water Resources Research*. 10: 485-492.
- Berglund, E.R., Ahyoud, A and Tayaa, M. 2003. Comparison of soil and infiltration properties of range and afforested sites in northern Morocco. *Forest Ecology and Management*. 3: 295-306.
- Chu, X and Miguel, A.M. 2005. Determination of ponding condition and infiltration into layered soils under unsteady rainfall. *Journal of hydrology*. 313: 195-207.
- Emdad, M.R., Fardad, H and Siadat, H. 2003. The effect of water quality (sodic and salt waters) on final infiltration rate in furrow irrigation. *Journal of Soil and Water Sciences*. 17.2: 1-10.
- Ersahin, S. 2003. Comparing Ordinary Kriging and Cokriging to Estimate Infiltration Rate, *Soil Science Society of America Journal (sssaj)*. 67.6: 1848-1855.
- Fakher-Nikche, A., Vafakhah, M and Sadeghi, S.H.R.

- Irrigation and Drainage paper No. 48.
- Shaver, T.M., Peterson, G.A., Ahuja, L.A., Westfall, D.G., Sherrod, L.A and Dunn, G. 2002. Surface soil properties after twelve years of dryland no-till management. *Soil Science Society of American*. 66: 1296–1303
- Shukla, M.K., Lal, R and Unkefer, P. 2003. Experimental evaluation of infiltration models for different land uses. *Soil Science*. 168.3: 178-191.
- Sy, N.L. 2006. Modelling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrology. Science Journal*. 51.1: 3-20.
- Turner, E.R. 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation. M.Sc. Thesis, University of Maryland, USA.
- Vinten, A.J.A., Mingelgrin, U and Yaron, B. 1983. The effect of suspended solids in wastewater on soil hydraulic conductivity: II. Vertical distribution of suspended solids. *Soil Science Society of American Journal*. 47: 408-412.
- Uloma, A.R., Samuel, A.Ch and Kingsley, L.K. 2014. Estimation of Kostiakov's infiltration model parameters of some sandy loam soils of Ikwano – Umuahia, Nigeria. *Open transaction on geosciences*. 1.1: 34-38.
- US Department of Agriculture Natural Resources and Conservation Service, 2005. National Engineering Handbook, Part 623, Surface Irrigation. National Technical Information Service, Washington, DC (Chapter 4).
- Wuest, S.B., Williams, J.D and Gollany, H.T. 2006. Pedotransfer functions on ponded infiltration for seven semi-arid loess soils. *Journal of Soil and Water Cons*. 61: 218-223.
- Mbagwu, J.S.C. 1992. Improving the productivity of a degraded Ultisol in Nigeria using organic and inorganic amendments. Part 2. Changes in physical properties. *Bioresource Technology*. 42:167-175.
- Nadav, I., Arye, G., Tarchitzky, J and Chen, Y. 2012. Enhanced infiltration regime for treated-wastewater purification in soil aquifer treatment (SAT). *Journal of Hydrology* 421:275– 283.
- Nash, J.E and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10: 2082–2090.
- Neshat, A and Parez-Kar, M. 2007. Comparing the methods of determining the vertical water infiltration into soil. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 4: 1-10.
- Parchami-Araghi, F., Mirlatifi, S.M., Ghorbani-Dashtaki, S.h and Mahdian, M.H. 2010. Estimating cumulative soil water infiltration using pedo-transfer functions in calcareous soils. *Journal of Water and Soil Conservation*. 17.3: 25-44.
- Parchami araghi, F., Mirlatifi, S.M.m., Ghorbani dashtaki, S and Mahdian, M.H. 2013. Point estimation of soil water infiltration process using Artificial Neural Networks for some calcareous soils. *Journal of hydrology*. 481, 35–47.
- Philip, J.R. 1957. The theory of infiltration (I). The infiltration equation and its solutions. *Soil Science*. 83:345-347.
- Pina, S., Garcia-Orenes, F., Mataix, H., Jordan, M.M and Mataix-Solera, J. 2009. Effect of the irrigation with waste water on two different Mediterranean soils under greenhouse conditions. *Geophysical Research Abstracts*. 11: 12-564.
- Rhoades, J.D., Kandiah, A and Mashali, A.M. 1992. The use of saline waters for crop production. FAO

Analysis of soil Infiltration Estimation Methods in Irrigated lands with Zabol Municipal Treated wastewater

N. Roushenas¹, F. Karandish^{2*}, SM. Tabatabaey³, AR. Hasanoghli⁴ and S. Sharifazari⁵

Received: Agu.12, 2015

Accepted: Feb.03, 2016

Abstract

Water quality is one of the most affective factors on soil infiltration. The widespread use of wastewater in recent years caused the accurate estimation of soil infiltration to be essential for achieving proper irrigation management. Therefore, Philip, Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Green-Ampt, Horton, SCS and linear regression models for soil infiltration estimation were evaluated. Infiltration experiments were carried out in an area of 190 ha of agricultural lands under wheat cultivation, around the Zabol refinery of municipal waste water for six soil texture classes include silty clay, clay loam, sandy loam, loam, loamy sand, silty clay loam. These lands are irrigated with treated wastewater for over 10 years. The study area was divided into pixels with 150m×150m size. The cumulative infiltration was determined using double ring experiment. Some physicochemical soil properties were determined in soil samples taken from the center of each pixel. Despite of significant relation between soil infiltration and EC, sand, clay and silt percentage, exchangeable sodium and bulk density, transfer functions didn't led to satisfactory results for cumulated infiltration. Kostiakov and Horton models were the best profitable models for silty clay soils. Whereas, the others were the best for cumulative infiltration estimation in silty clay loam soils. Green-Ampt and Kostiakov models were the best fitted on the observed cumulative infiltration data with root mean square, mean bias error and efficient coefficient of 0.16 and 0.15 cm, -0.03 and 0.04 cm, and 0.74 and 0.78 cm, respectively. The considerable reduction in soil infiltration due to over accumulation of salt and sodium in the surface soil layers through long term application of waste water in the study area.

Keywords: exchangeable sodium, infiltration models, transfer function, wastewater, wheat

1- MSc student, Water Engineering Department, University of Zabol

2- Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Zabol

3- Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Zabol

4- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute

5- Researcher, Water Engineering Department, University of Zabol

(* - Corresponding Author Email: Karandish_h@yahoo.com & F.Karandish@uoz.ac.ir)