



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴
<http://jwsc.gau.ac.ir>

شبیه‌سازی شوری خاک تحت منبع خطی در یک خاک ناهمگن و در شرایط غیرماندگار

فیروزه جوادزاده شاخالی^۱، * محمدرضا خالدیان^۲، مریم نوابیان^۳ و پریسا شاهین‌رخسار^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست، پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر، رشت، ^۲ پژوهشگر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی رشت
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: محدودیت منابع آب در برخی مناطق، موجب کاربرد آب‌های نامتعارف و استفاده از سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا نظیر آبیاری قطره‌ای شده است. عدم مدیریت صحیح در مصرف منابع آب، منجر به افزایش تجمع نمک در سطح خاک گردیده است. به سبب محدودیت‌های اجرایی مانند بالا بودن هزینه و زمان‌بر بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای، استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز برای مطالعه سناریوهای مختلف مدیریتی توصیه می‌شود. هدف پژوهش حاضر بررسی حرکت نمک در مقیاس مزرعه‌ای و حالت غیرماندگار برای یک خاک سنگین ناهمگن با برآورد همزمان پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح خاک به روش حل معکوس توسط مدل HYDRUS-2D می‌باشد.

مواد و روش‌ها: سامانه آبیاری قطره‌ای نواری به‌عنوان منبع خطی اجرا شد و با شوری‌های ۱/۲۷۹، ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری انجام گردید. ۴۸ ساعت پس از اتمام آبیاری، نیم‌رخ خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متری حفر گردید و شبکه‌بندی با ابعاد ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. برای بررسی وضعیت املاح، نمونه‌برداری از زیر تیپ و فاصله افقی ۲۰ سانتی‌متری از جانب تیپ برای تعیین شوری عصاره اشباع خاک (ECe) صورت گرفت. مقادیر ECe مشاهده‌ای حاصل از آزمایش‌های میدانی و شبیه‌سازی شده با مدل توسط آماره‌های nRMSE و CRM مقایسه شدند. **یافته‌ها:** شوری خاک شبیه‌سازی شده اندکی کم‌تر از مقادیر مشاهده‌ای به‌دست آمد. همچنین مشاهده گردید که بیش‌ترین مقدار شوری در لایه سطحی خاک وجود دارد؛ بنابراین این امر می‌تواند نشان‌دهنده لزوم آبیاری نمک‌ها در مواردی هم‌چون مراحل اولیه رشد گیاه که حساسیت به شوری بیشتر است، باشد. براساس برآورد حل معکوس توسط مدل HYDRUS، ضریب انتشارپذیری طولی (D_L) بین ۲۴/۵۷ تا ۳۹/۵۶ و ضریب انتشارپذیری عرضی (D_T) بین ۰/۱۲۹۸ تا ۵/۲۶۸۰ به‌دست آمد. این تفاوت‌های مشاهده شده در ضرایب انتشارپذیری در شوری‌های مختلف می‌تواند ناشی از ناهمگنی خاک و تغییرات مکانی زیاد پارامترهای انتقال در خاک باشد. محدوده nRMSE برای زیر تیپ بین ۲/۷۹ تا ۱۸/۴۹ درصد و برای جانب تیپ بین ۳/۰۸ تا ۲۰ درصد به‌دست آمد که در رده عالی تا خوب قرار می‌گیرد. محدوده CRM در زیر تیپ ۰/۰۴۹- تا ۰/۰۹۷ و در جانب تیپ ۰/۰۶۵- تا ۰/۰۸۱ به‌دست آمد.

* مسئول مکاتبه: khaledian@guilan.ac.ir

نتیجه‌گیری: علی‌رغم وجود بافت خاک سنگین و ناهمگن در منطقه مورد مطالعه، طبق شاخص‌های آماری محاسبه شده، مدل توانست با برآورد پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح به روش حل معکوس با کیفیت قابل‌قبولی شبیه‌سازی شوری را انجام دهد؛ بنابراین می‌توان از این مدل به‌عنوان ابزاری مناسب، برای طراحی و مدیریت آبیاری قطره‌ای نواری با آب شور و لب‌شور استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تجمع نمک، HYDRUS-2D، آب شور

مقدمه

مشکل شور شدن منابع تولید در بخش کشاورزی (آب و خاک) در بیش از صد کشور جهان وجود دارد (16). در کشور ایران عدم مدیریت صحیح در مصرف منابع آب، موجب کاهش سطح آب زیرزمینی، افزایش تجمع نمک در سطح خاک و شور شدن بسیاری از خاک‌های کشور شده است. پژوهشگران با هدف کاهش تلفات آب، ایجاد رطوبت بهینه و جلوگیری از نفوذ عمقی، روش‌های جدید مدیریت آب آبیاری را توسعه دادند (11, 27).

بهره‌برداری از آب‌های با کیفیت پایین پیچیده و دشوارتر از آب با کیفیت مناسب است. همچنین کارآمدی سامانه آبیاری قطره‌ای در گرو توزیع یکنواخت آب و مواد مغذی است. بنابراین برای دستیابی به توزیع یکنواخت آب و املاح و کاهش خطرات ناشی از آبیاری با آب شور در آبیاری قطره‌ای، می‌بایست از نحوه توزیع آب و املاح در خاک اطلاعات کافی داشت. اطلاع از نحوه توزیع آب و املاح می‌تواند به‌منظور ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین گزینه مدیریتی مفید واقع گردد (13, 28). طبق بررسی‌ها، طراحی و مدیریت درست سامانه آبیاری قطره‌ای در خاک‌های با نفوذپذیری کم و بافت ریز، می‌تواند خصوصیات هیدرولیکی خاک را بهبود بخشد (7). در واقع آبیاری قطره‌ای پتانسیل بهبود مدیریت مواد مغذی را دارد (15). آزمایش مزرعه‌ای برای تعیین و تحلیل مدیریت‌های مختلف آبیاری با آب شور مفید است اما به‌دلیل محدودیت‌های اجرایی

از مدل‌های شبیه‌ساز استفاده می‌شود. مدل‌های عددی و تحلیلی همچون ابزاری برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت اثرات کیفیت آب آبیاری روی خصوصیات خاک، عملکرد محصول، آب زیرزمینی و محیط زیست هستند (23). یکی از مدل‌های عددی، مدل HYDRUS-2D است که قادر است به‌صورت عددی حرکت آب، انتقال املاح و گرما را شبیه‌سازی کند (24). برخلاف مدل‌های ماندگار تعیین شوری خاک که تنها قادرند غلظت نمک‌های خاک را در شرایط استفاده مداوم از یک منبع آب پیش‌بینی کنند، مدل HYDRUS قادر است تحت شرایط غیرماندگار نیز شبیه‌سازی را انجام دهد. اسکگر و همکاران (2004) طی پژوهشی مدل HYDRUS-2D را یک ابزار طراحی با دقت بسیار بالا معرفی نمودند و اظهار داشتند که می‌توان جریان در تیپ را خطی در نظر گرفت و در دو بعد بررسی نمود (27). تخمین پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در یک خاک ناهمگن دشوار است، زنگ و همکاران (2012)، با تخمین پارامترهای هیدرولیکی توسط رویکرد حل معکوس بهترین نتیجه را از شبیه‌سازی در یک خاک شنی دارای خرده‌های سنگی به‌دست آوردند (31). عباسی و تاجیک (2007) نیز با این مدل در مقیاس مزرعه‌ای مطالعه‌ای روی خاک لوم شنی و فاقد پوشش گیاهی در جویچه‌های با انتهای بسته با فرض همگن بودن خاک برای شرایط غیرماندگار انجام دادند و پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در خاک را به روش حل معکوس و به‌طور هم‌زمان برآورد کردند

رودخانه سفیدرود وظیفه تأمین آب شبکه آبیاری سفیدرود به‌عنوان منبع عمده تأمین‌کننده آب بخش کشاورزی در مرکز و شرق استان را بر عهده دارد. بنابراین مدیریت آبیاری متناسب با کاربرد آب شور و لب‌شور ضروری است.

با توجه به مشکلات فوق، هدف از این پژوهش بررسی حرکت نمک تحت شرایط مزرعه‌ای و حالت غیرماندگار برای خاک ناهمگن با برآورد هم‌زمان پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در خاک، به روش حل معکوس توسط مدل HYDRUS-2D در نظر گرفته شد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک توسط مدل HYDRUS-2D پیش‌بینی شد و برای ارزیابی نتایج مدل با مقدار واقعی EC_e خاک مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گیلان با عرض ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و طول ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۲۴/۶ متر از سطح دریای آزاد در سال ۱۳۹۱ صورت گرفت. بافت خاک به روش هیدرومتری و جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش استوانه به روش نمونه‌برداری دست‌نخورده برای دو عمق (صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری) به‌دست آمد (جدول ۱).

(4). در جنوب آریزونا نیز پژوهشی در سطح مزرعه، با دو عمق تیپ ۱۸ و ۲۵ سانتی‌متری و شوری آب ۱/۵ و ۲/۶ دسی‌زیمنس بر متر، روی یک نمونه بافت خاک متوسط، برای دو گیاه تجاری انجام شد. مقادیر EC_e حاصل از مدل HYDRUS-2D با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شدند و کارایی مدل مورد تأیید قرار گرفت (20).

انتخاب مدل مناسب و معرفی آن در یک منطقه، نیازمند پژوهش و بررسی تحت شرایط آن منطقه است. اگرچه در زمینه توصیف و مدل‌سازی حرکت آب و املاح تحت شرایط کنترل شده در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی به‌دست آمده است، اما اکثر این پژوهش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و حالت ماندگار بوده است و تحلیل‌ها در مقیاس مزرعه‌ای اندک می‌باشد. علت این امر را در هزینه‌ها و نیروی کارگری مورد نیاز و همچنین پیچیدگی‌های ذاتی ناشی از ناهمگنی خاک در مقیاس مزرعه‌ای دانسته‌اند (4). مطالعات زیادی در تعیین کارایی مدل HYDRUS در خاک‌های با بافت‌های مختلف انجام شده، اما پژوهش‌ها در حوزه خاک‌های دارای بافت سنگین و ناهمگن تحت شرایط غیرماندگار اندک است. با توجه به این‌که بارندگی در استان گیلان طی فصل زراعی یعنی بهار و تابستان نامناسب می‌باشد و از آب رودخانه سفیدرود برای آبیاری استفاده می‌گردد، مشاهده شده است که در سال‌های اخیر شوری آب رودخانه سفیدرود افزایش یافته است (1).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Selected physical characteristics of the study soil.

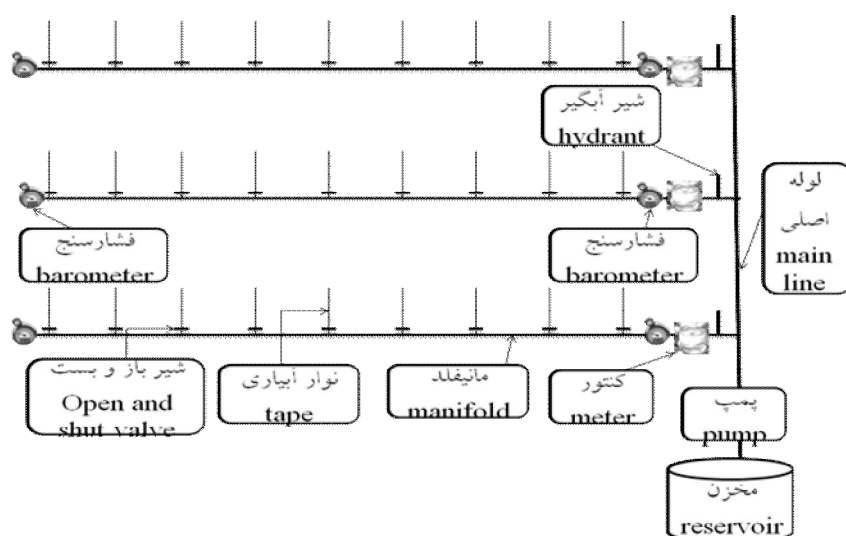
عمق (cm) Depth (cm)	شن (%) Sand (%)	سیلت (%) Silt (%)	رس (%) Clay (%)	بافت خاک Soil texture	جرم مخصوص ظاهری (gcm^{-3}) Bulk density (gcm^{-3})
0-20	3	48	49	رس سیلتی clay-Silty	1.58
20-40	3	44	53	رس سیلتی clay-Silty	1.55

است، بنابراین از کلرید سدیم (NaCl) به سبب سهولت و دقت اندازه‌گیری غلظت آن به کمک هدایت سنج استفاده شد (14).

$$TDS = 640 \times EC \quad (1)$$

که در آن، TDS: جرم نمک مورد نیاز در واحد حجم (mg/l) و EC: هدایت الکتریکی (ds/m) می‌باشد، میزان محاسبه شده از رابطه ۱ در یک استوانه یک لیتری حل شده و با آب مقطر به حجم رسانده شد و وارد مخزن آبیاری گردید تا شوری‌های ۲/۵ و سپس ۵ دسی‌زیمنس بر متر به دست آیند. یک تیمار بدون تزریق نمک و توسط آب موجود در محل آزمایش که دارای شوری ۱/۲۷۹ دسی‌زیمنس بر متر بود انجام شد که به‌عنوان تیمار آب معمولی معرفی می‌گردد.

مطابق با عرف منطقه عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی زمین صورت گرفت. آب مورد نیاز برای آبیاری، توسط مخزن و از طریق اتصال یک پمپ به مخزن و لوله اصلی، در سامانه جریان یافت. لوله‌های مورد استفاده از جنس پلی‌اتیلن و به قطر ۴۰ میلی‌متر برای لوله اصلی، ۲۵ میلی‌متر برای مانیفولد و ۱۶ میلی‌متر برای نوارهای تیپ بودند. روی هر مانیفولد نه نوار آبیاری به فواصل ۱/۵ متر قرار داده شد. برای اعمال تیمارهای مورد نظر، حجم‌های معینی از آب آبیاری توسط کنتور و فشارسنج با مقادیر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر ایجاد شد و برای هر حجم نیز شوری‌های ۱/۲۷۹، ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در سه تکرار اعمال شد (شکل ۱). مقدار نمک تزریق شده برای رسیدن به شوری مورد نظر از رابطه ۱ به دست آمد (19). از آنجا که در مطالعات آزمایشگاهی، کلرید سدیم به‌عنوان آلاینده خنثی یا غیرجذب‌ی استفاده شده



شکل ۱- شمای کلی از نحوه انجام آزمایش.

Figure 1. Overview of the experiment.

ایجاد شد. برای بررسی حرکت املاح، نمونه‌های خاک از عمق‌های صفر تا ۴۰ سانتی‌متری با ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر زیر تیپ و به فواصل شعاعی ۲۰ سانتی‌متری از طرفین تیپ (به‌صورت متقارن)

به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب، سطح خاک تا زمان ایجاد پروفیل خاک با صفحات پلاستیکی پوشانده شد. ۴۸ ساعت پس از آبیاری، زیر هر تیپ با خط‌کش، یک شبکه‌بندی با ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر

$q_i q_j$: شدت جریان (LT^{-1}), D_0 : ضریب پخشیدگی مولکولی در آب آزاد (L^2T^{-1}), τ_0 : عامل خمیدگی خلل و فرج خاک (بدون بعد), δ_{ij} : تابع دلتای کرونگر, D_L : ضریب انتشارپذیری طولی (L) و D_T : ضریب انتشارپذیری عرضی (L) هستند.

برای شبیه‌سازی جریان، حوزه شبیه‌سازی شامل مقطع خیس شده تحت یک نوار آبیاری است. محدوده شبیه‌سازی، با استفاده از زیر برنامه موجود در مدل (MESHGEN2D) تعریف گردید که دارای بعد افقی ۴۵ سانتی‌متر و بعد عمودی ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و یک سمت از محدوده جریان با فرض متقارن بودن شبیه‌سازی شد. شبکه‌بندی محدوده به صورت مثلثی و با فواصل گره‌های یک سانتی‌متری اجرا شد.

پارامترهای مقادیر رطوبت و شوری اولیه خاک (مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شده قبل از آزمایش) به عنوان شرایط اولیه مدل، استفاده شدند. مقدار EC_e اولیه که در آزمایشگاه به دست آمد توسط رابطه ۴ به EC_{sw} (شوری محلول خاک) تبدیل شد:

$$EC_{sw} = \frac{S_p \rho_b}{1000 \rho_w} EC_e \quad (4)$$

که در آن، S_p : درصد اشباع (%), ρ_b : وزن مخصوص ظاهری خاک (ML^{-3}), ρ_w : وزن مخصوص ظاهری آب (ML^{-3}) و θ : رطوبت حجمی خاک (L^3L^{-3}) هستند. در پایان شبیه‌سازی مجدداً از رابطه (۴) برای تبدیل EC_{sw} به EC_e استفاده شد تا بتوان با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه مقایسه نمود (۲۶). از آنجا که روی سطح خیس شده خاک با پلاستیک پوشانده شد، میزان تبخیر برابر با صفر در نظر گرفته شد و شرایط اتمسفر در مرز بالایی اعمال شد. برای منبع خطی نیز شرایط مرزی جریان متغیر در نظر گرفته شد. شرط مرزی نوع سوم (Cauchy) برای

گرفته شد. نمونه‌برداری یک‌بار انجام شد که برای هر تکرار هر تیمار ۱۲ نمونه فراهم بود. گل اشباع طبق دستورالعمل در آزمایشگاه تهیه گردید (30) و هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌های خاک با استفاده از هدایت‌سنج قرائت شد و این داده‌ها با مقادیر شبیه‌سازی مقایسه شدند.

مدل HYDRUS-2D بسته نرم‌افزاری تحت سیستم عامل ویندوز است که قادر به برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و پارامترهای انتقال املاح به روش حل معکوس می‌باشد. در این مدل برای حل عددی معادلات حاکم از روش اجزای محدود خطی نوع گالرکین و برای بهینه‌سازی پارامترها از روش لونیبرگ-مارکوارت استفاده شد (24).

نمک‌های غیرفعال در توده خاک یا در آب‌های زیرزمینی، واکنشی بروز نمی‌دهند (16). بنابراین با صرف نظر کردن از جذب سطحی یا تجزیه نمک در خاک با استفاده از مدل فیزیکی تعادلی انتقال-انتشار (CDE) برای انتقال غیرواکنش‌پذیر، حرکت املاح توسط مدل HYDRUS-2D شبیه‌سازی شد (۵) و (۲۶). که رابطه ۲ معادله انتقال-انتشار املاح در محیط متخلخل را نشان می‌دهد.

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - q_i \frac{\partial C}{\partial x_i} \quad (2)$$

تانسور ضریب انتشار از رابطه ۳ به دست می‌آید (5).

$$\theta_m D_{ij} = D_T |q_i \delta_{ij}| + (D_L - D_T) \frac{q_i q_j}{|q_i|} + \theta_m D_0 \tau_0 \delta_{ij} \quad (3)$$

که در آن، θ_m : رطوبت ناحیه روان (بخشی از آب موجود در خاک که در انتقال توده‌ای املاح نقش دارد) (L^3L^{-3}), D_{ij} : تانسور ضریب انتشار (L^2T^{-1}),

هستند و نوع نمک تأثیری بر مقادیر آن‌ها ندارد، فرض اولیه برای این پارامترها براساس بررسی منابع برای انتشارپذیری طولی 0.1 طول انتقال (L) و انتشارپذیری عرضی 0.1 انتشارپذیری طولی (L) در نظر گرفته شد (22, 26). براساس این فرض اولیه، شبیه‌سازی مستقیم شوری خاک توسط مدل انجام شد. اما طبق این ورودی‌ها، مقادیر مشاهده‌ای شوری خاک با مقادیر شبیه‌سازی تفاوت مشهودی داشت و شاخص آماری nRMSE نیز در محدوده غیرقابل قبول قرار گرفت. از آنجا که تخمین این پارامتر در یک خاک ناهمگن و تحت شرایط غیراشباع پیچیده و دشوار است و از آنجا که مقدار انتشارپذیری به مقیاس اندازه‌گیری وابسته بوده و روش‌های آزمایشگاهی معمولاً روی نمونه‌های کوچک که کم‌تر قابل تعمیم به مزرعه است انجام می‌شود؛ بنابراین برای حل مشکل از روش حل معکوس برای برآورد پارامتر استفاده شد. حل معکوس ابتدا برای شوری $1/279$ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد، با توجه به این که خاک منطقه دو لایه در نظر گرفته شد، بنابراین تعداد پارامترهای تخمینی زیاد بود، در گام اول همه مجهولات توسط مدل پیش‌بینی شدند و با توجه به فرض اولیه، خروجی‌ها مقادیری را نشان دادند. در گام دوم از مقادیر خروجی به‌عنوان فرض اولیه مدل استفاده شد، تفاوت آن با گام اول، در تخمین داده‌ها به‌صورت لایه به لایه بود. برای دو شوری دیگر نیز این روند به‌صورت مشابه انجام شد. برای آب معمولی تمام پارامترها به‌جز رطوبت اشباع و هدایت هیدرولیکی لایه اول جزء موارد تخمینی بود اما برای دو شوری دیگر همه مقادیر به‌جز رطوبت اشباع لایه اول و دوم، رطوبت باقی‌مانده و α لایه دوم برآورد شدند؛ زیرا در گام نخست برآورد پارامترها نزدیک به پارامترهای آب معمولی به‌دست آمد. این عمل به‌منظور کاهش تعداد پارامترهای تخمینی انجام شد. مقادیر شوری‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با

مرز بالایی انتقال و مرز زیرین به‌عنوان مرز زهکش آزاد و طرفین به‌عنوان مرز بدون جریان تعریف شدند. به‌منظور برآورد پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح خاک برای هر دو لایه از روش حل معکوس به‌طور همزمان در نرم‌افزار HYDRUS-2D استفاده شد. مزیت این روش این است که تأثیر متقابل عوامل هیدرولیکی و انتقال املاح در نظر گرفته می‌شود.

در روش‌های حل معکوس توصیه شده است که ابتدا حساس‌ترین پارامترها با استفاده از آنالیز حساسیت انتخاب و سپس برآورد شوند. آنالیز حساسیت، حد یا درجه حساسیت یک مدل ریاضی را به پارامترهای ورودی آن نشان داده و تأثیرپذیری مدل و شرایط واقعی را از داده‌های ورودی مورد بررسی قرار می‌دهد. اهمیت این کار در این است که گاه تغییر مقدار یک پارامتر با درجه حساسیت کم در دامنه وسیعی از محدوده تغییرات آن، تأثیر ناچیزی بر مقدار تابع هدف داشته و این سبب می‌شود که سایر پارامترهای بردار مجهولات به درستی برآورد نشوند و یا طولانی شدن محاسبات را فراهم سازد. یکی از این پارامترها I است که به‌دلیل کم بودن ضریب حساسیت، در مدل‌سازی معکوس با دقت چندانی برآورد نمی‌شود (3). در این پژوهش برای بهینه‌سازی هر تیمار، داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک و غلظت املاح تا عمق 40 سانتی‌متری و از یک تکرار از حجم مشخص (20 لیتر) برای تخمین هم‌زمان پارامترهای هیدرولیکی خاک و معادله CDE در تابع هدف به‌کار رفت. طبق بررسی منابع انجام شده نظیر (2, 4, 22, 26)، پارامترهای انتقال املاح توسط شبیه‌سازی با مدل CDE، انتشارپذیری طولی و عرضی در نظر گرفته شده است. همچنین براساس آنالیز حساسیت صورت گرفته؛ مقادیر انتشارپذیری طولی و عرضی دارای ضریب حساسیت بالاتری بودند. از آنجا که D_T و D_L بیان‌کننده تأثیر میکروسکوپی تفاوت سرعت جریان بر انتقال املاح

نشان‌دهنده شبیه‌سازی عالی مدل است و چنانچه nRMSE بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، نشان‌دهنده کارکرد خوب و بین ۲۰ تا ۳۰ درصد نشان‌دهنده کارکرد متوسط مدل است. nRMSE بیش‌تر از ۳۰ درصد نشان‌دهنده ضعیف بودن مدل می‌باشد (6).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و پارامترهای معادله انتقال-انتشار با روش حل معکوس برای دو لایه خاک در جدول ۲ نشان داده شده است.

استفاده از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا nRMSE، رابطه (۵) و ضریب کارایی مدل CRM، رابطه (۶) مقایسه شدند.

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad (5)$$

$$CRM = \frac{[\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n S_i]}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (6)$$

براساس طبقه‌بندی بنیان و هاگنبوم (2009)، چنانچه مقدار nRMSE کم‌تر از ۱۰ درصد باشد،

جدول ۲- برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، پارامترهای معادله ون‌گنوختن- معلم و پارامترهای انتقال املاح.

Table 2. Results of soil hydraulic, van Genuchten equation and solute transport parameters.

D _L (cm)	D _T (cm)	K _s (cm.day ⁻¹)	n-Mualem (-)	α (cm ⁻¹)	θ _s (cm ³ .cm ⁻³)	θ _r (cm ³ .cm ⁻³)	EC _w (dSm ⁻¹)	لایه‌های خاک Soil layers
24.57	0.7361	3.528	1.328	0.01368	0.5215	0.01362	1.279	0-20 cm
36.42	3.100	2.770	1.350	0.1016	0.4682	0.09839	1.279	20-40 cm
25.94	0.1298	3.206	1.413	0.01192	0.5215	0.01362	2.500	0-20 cm
33.12	2.9200	2.620	1.470	0.1016	0.4682	0.09839	2.500	20-40 cm
25.94	2.7250	3.007	1.734	0.01376	0.5215	0.01522	5.000	0-20 cm
39.56	5.2680	2.520	1.699	0.1016	0.4682	0.09839	5.000	20-40 cm

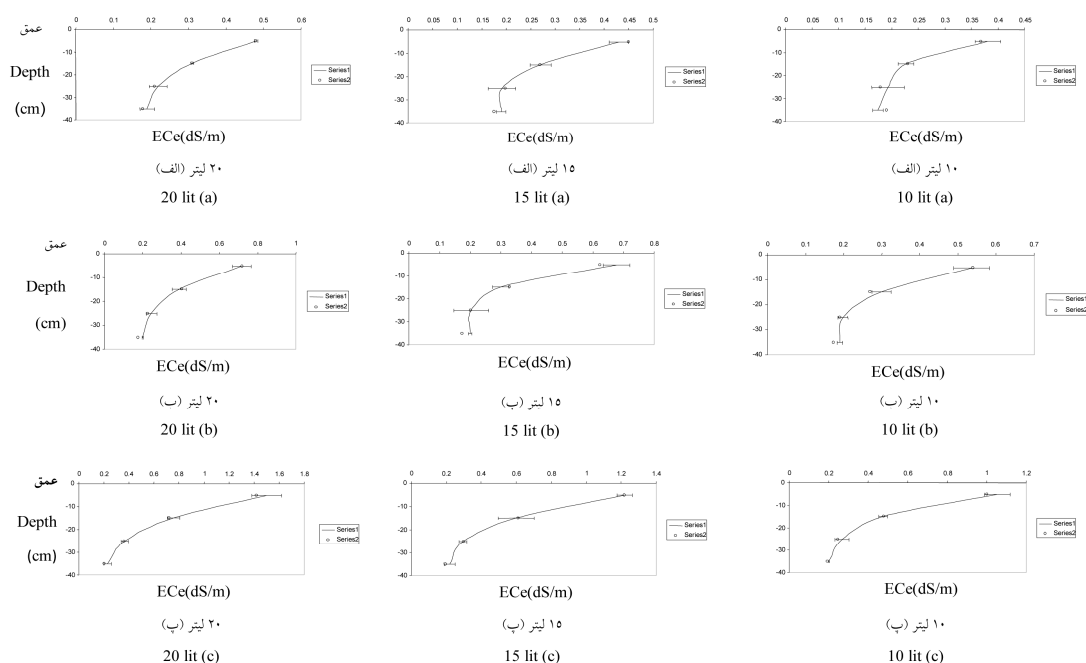
سانتی‌متر بر روز به‌دست آمد و مقدار این پارامتر برای شوری‌های دیگر توسط رویکرد حل معکوس اندکی کم‌تر برآورد شد. هم‌چنان که لوی و همکاران (2005) نیز اظهار داشتند که هدایت هیدرولیکی اشباع حساسیت بیش‌تری نسبت به شوری و سدیمی بودن خاک در مقایسه با هدایت هیدرولیکی غیراشباع دارد (12). پارامتر α عکس ارتفاع مؤئینه در مدل ون‌گنوختن می‌باشد که کوچک بودن آن نشان‌دهنده برتری پتانسیل مؤئینگی بر پتانسیل ثقلی است. I پارامتر تجربی مربوط به پیوستگی خلل و فرج خاک که در اکثر پژوهش‌ها و در این پژوهش ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (3). برآورد انتشارپذیری طولی و عرضی برای

در جدول بالا؛ θ_r و θ_s به‌ترتیب رطوبت حجمی اشباع و رطوبت حجمی باقی‌مانده در خاک، α: عکس ارتفاع مؤئینه در مدل ون گنوختن، n: پارامتر شکل منحنی مشخصه رطوبتی خاک، K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، D_T و D_L به‌ترتیب انتشارپذیری طولی و عرضی هستند. با توجه به جدول ۲، نتایج برآورد حل معکوس بیانگر هدایت هیدرولیکی بیش‌تر لایه اول خاک نسبت به لایه دوم در هر سه تیمار است که با توجه به زیاد بودن درصد رس در لایه دوم (جدول ۱) و خاک‌ورزی لایه سطحی خاک، منطقی به‌نظر می‌رسد. همچنین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع برای آب معمولی با استفاده از روش صحرایی به مقدار ۳/۵۲۸

پیوسته گیاهان و تأثیر خلل و فرج حاصل از ریشه‌های پوسیده گیاهان سال قبل باشد (21). همچنین سرعت جریان در منافذ درشت سریع‌تر از منافذ ریز و در مرکز لوله‌های موئین بیش‌تر از دیواره لوله‌ها است، بنابراین بخشی از محلول آب خاک سریع‌تر از بخش دیگر در حرکت است. بنابراین ساختمان خاک یکی از عوامل تأثیرگذار در برآورد پارامترهای انتقال املاح است.

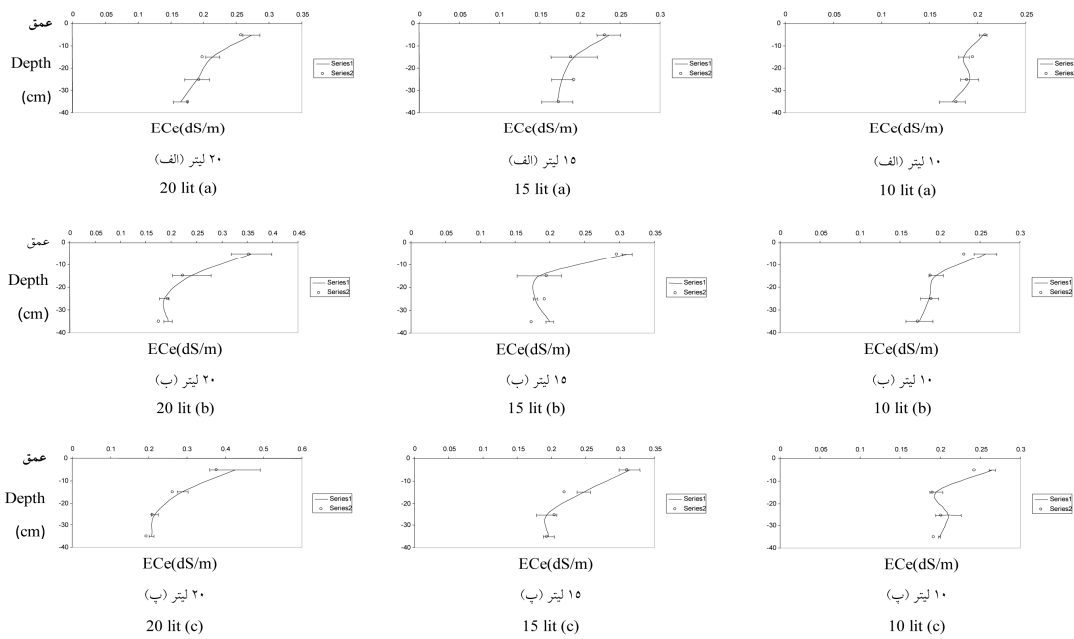
مقادیر شوری خاک مشاهده‌ای و برآورد شده توسط مدل در زیر تیپ در شکل ۲ و برای فاصله ۲۰ سانتی‌متری از تیپ در شکل ۳ نمایش داده شده است. شکل‌ها نشان می‌دهند که مدل قادر بوده مقادیر شوری خاک را به خوبی شبیه‌سازی کند. همچنین با توجه به شکل‌ها بیش‌ترین مقدار شوری در لایه سطحی خاک مشاهده شد، این امر می‌تواند نشان‌دهنده لزوم آبیاری نمک‌ها در مواردی هم‌چون مراحل اولیه رشد گیاه که حساسیت به شوری بیش‌تر است، باشد.

دو لایه خاک و برای تیمارهای مختلف نیز در جدول ۲ آمده است. محدوده مشاهده شده بین مقادیر انتشارپذیری حاصل از حل معکوس در محدوده مطالعات دیگر بوده است (4). فوگت و همکاران (2012) نیز بیان داشته‌اند که مقدار انتشارپذیری طولی به مقیاس اندازه‌گیری وابسته است (17). قهرمان (2012)، محدوده بین ۰/۵ تا ۲ سانتی‌متر را برای مقیاس آزمایشگاهی معرفی نمودند، برای شرایط مزرعه‌ای مقادیر بالاتر و در محدوده ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر و برای آبخوان اغلب بزرگ‌تر از یک متر گزارش شده است (18). از آنجا که ضریب انتشار به سرعت جریان بستگی دارد، بنابراین تفاوت‌های مشاهده شده در ضرایب انتشارپذیری در شوری‌های مختلف می‌تواند ناشی از ناهمگنی خاک و تغییرات مکانی زیاد پارامترهای انتقال در خاک باشد؛ زیرا افزایش سرعت جریان و انتشارپذیری بیانگر افزایش جریان ترجیحی است (29) که می‌تواند در اثر ریشه‌های عمیق و



شکل ۲- مقایسه شوری شبیه‌سازی (○) و اندازه‌گیری شده (—) برای سه تکرار و سه حجم در زیر تیپ؛ الف) آب معمولی، ب) ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و پ) ۵ دسی‌زیمنس بر متر.

Figure 2. Comparing the simulated salinity (○) and measured (-) for three iteration and three volume of beneath tape; a) ordinary water, b) 2.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and c) 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.



شکل ۳- مقایسه‌ی شوری شبیه‌سازی (○) و اندازه‌گیری شده (-) برای سه تکرار و سه حجم در جانب تیپ؛ الف) آب معمولی، ب) ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و پ) ۵ دسی‌زیمنس بر متر.

Figure 3. Comparing the simulated salinity (○) and measured (-) for three iteration and three volume of side tape; a) ordinary water, b) 2.5 dS.m⁻¹ and c) 5 dS.m⁻¹.

رطوبت اولیه در یک نقطه خاص، کمی بیش‌تر و یا کم‌تر از مقدار شوری و رطوبت داده شده به مدل به‌عنوان ورودی بوده باشد و مدل در لایه‌های سطحی خاک یک روند خاصی ناشی از کم‌تخمین زدن مقدار املاح را نشان دهد.

پژوهشگران دیگر نیز چنین کم‌تخمین زدن املاح را طی پژوهش خود ملاحظه نمودند (4, 26). تأخیر زمانی قرائت رطوبت و زمان برداشت نمونه شوری نیز می‌تواند سبب این تفاوت گردد. عباسی و تاجیک (2007) اظهار داشتند که وجود θ_r و سایر پارامترهای هیدرولیکی در بهینه‌سازی می‌تواند منجر به بهبود نتایج مدل گردد (4). فورکاتسو و سومر (2005) ضعف شبیه‌سازی آب و املاح در مدل HYDRUS-1D را ناشی از تخمین اشتباه پارامترهای انتقال املاح توسط حل معکوس بیان کردند (9). سیال و همکاران (2013) نیز حرکت املاح را تحت آبیاری زیرسطحی با لوله‌های سفالی توسط مدل HYDRUS-2D بررسی نمودند و

مدل HYDRUS-2D در اعماق مختلف، توانسته مقادیر شوری خاک را نزدیک به مقادیر واقعی پیش‌بینی نماید و بیش‌ترین مقدار شوری در زیر تیپ مشاهده شد. نتایج مدل نشان می‌دهد که با گذشت زمان، شوری به جوانب نیز انتقال یافته است. همچنین با افزایش حجم آب آبیاری، مقدار شوری خاک افزایش یافت. در اغلب تکرارها و به‌طور عمده تا عمق حدود ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک، مقدار شوری خاک کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زده شده است. در تعدادی از شکل‌ها به‌خصوص در جانب تیپ در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری نیز اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده وجود دارد، این تفاوت می‌تواند ناشی از ناهمگنی خاک باشد که وجود سنگ درون خاک، تغییرات مواد آلی در نقاط مختلف نیم‌رخ خاک و بقایای ریشه گیاهان می‌توانند از علل ایجاد این ناهمگنی باشند، بنابراین به سبب ناهمگنی ممکن است مقدار شوری اولیه خاک و

مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع مشاهده‌ای و برآورد شده را با شاخص‌های $RMSE$ ، R^2 و MBE مقایسه نمودند و به‌ترتیب مقادیر $0/116$ ، $0/952$ و $0/09$ - دسی‌زیمنس بر متر را به‌دست آوردند، که نشان‌دهنده موفقیت مدل در شبیه‌سازی است (26). نتایج پژوهش فوق با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. همان‌طور که نتایج حاصل از آماره‌های $nRMSE$ و CRM در جدول ۳ نشان می‌دهند؛ هر چه مقدار $nRMSE$ کم‌تر و CRM نزدیک‌تر به صفر باشد، برآورد مدل بهتر است. محدوده $nRMSE$ برای زیر تیپ بین $2/799$ تا $18/49$ درصد و برای جانب تیپ بین $3/084$ تا 20 درصد به‌دست آمد و محدوده CRM در زیر تیپ $0/049$ - تا $0/097$ و در جانب تیپ $0/065$ - تا $0/069$ به‌دست آمد.

جدول ۳- نتایج $nRMSE$ و CRM برای هر تکرار در زیر و جانب تیپ در نیم‌رخ خاک.

Table 3. Results $nRMSE$ and CRM for beneath and side tape in soil profile for every iteration.

CRM جانب تیپ side tape (-)	CRM زیر تیپ beneath tape (-)	$nRMSE$ جانب تیپ Side tape (%)	$nRMSE$ زیر تیپ beneath tape (%)	شوری (dSm^{-1}) EC_e (dSm^{-1})	تکرار iteration	حجم (lit) Volume (lit)
0.001	-0.012	4.33	10.19	1.279	1	10
-0.012	-0.03	3.63	10.04	1.279	2	10
0.045	0.047	5.39	6.90	1.279	3	10
-0.065	-0.049	11.69	11.86	1.279	1	15
0.033	0.044	5.97	5.17	1.279	2	15
-0.028	0.006	9.87	3.95	1.279	3	15
0.051	0.014	9.76	4.97	1.279	1	20
-0.049	0.047	7.51	5.80	1.279	2	20
0.032	0.001	4.67	4.87	1.279	3	20
0.061	0.076	8.33	8.94	2.500	1	10
-0.037	-0.027	6.78	10.53	2.500	2	10
0.081	0.078	9.38	8.96	2.500	3	10
0.022	0.068	10.55	11.85	2.500	1	15
-0.008	-0.021	12.44	9.89	2.500	2	15
0.046	0.075	7.69	13.29	2.500	3	15
0.016	0.012	7.72	5.22	2.500	1	20
0.032	0.034	10.54	8.00	2.500	2	20
0.028	0.014	9.18	10.92	2.500	3	20
0.030	0.054	7.17	10.19	5.000	1	10
0.024	-0.009	4.49	2.79	5.000	2	10
0.061	0.089	7.42	11.96	5.000	3	10
-0.012	0.012	8.29	5.02	5.000	1	15
0.025	0.055	4.16	9.14	5.000	2	15
0.026	-0.034	5.91	9.85	5.000	3	15
0.027	-0.004	3.08	6.60	5.000	1	20
0.069	0.096	7.52	12.04	5.000	2	20
0.011	0.097	20.00	18.49	5.000	3	20

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر برای مقایسه مقادیر شوری شبیه سازی و اندازه گیری شده از آماره nRMSE استفاده شده است. بر این اساس شبیه سازی مدل در رده عالی تا خوب قرار می گیرد. با وجود این که خاک مورد مطالعه در این پژوهش یک بافت سنگین و ناهمگن بوده که معمولاً بافت سنگین موجب ناپایداری حل عددی مسائل می گردد (8)، همچنین در خاک های لایه لایه، تغییرات رطوبت بین لایه ها پیوسته نیست و اغلب سبب ناپایداری در حل های عددی می شود (3)؛ اما در این پژوهش با مقایسه مقادیر املاح شبیه سازی شده و اندازه گیری شده در زیر و جانب تیپ، می توان نتیجه گرفت که مدل عددی مورد مطالعه توانسته با کیفیت قابل قبولی شبیه سازی شوری را انجام دهد. با توجه به نتایج پژوهش صورت گرفته،

کارایی مدل برای شبیه سازی حرکت شوری تحت منبع خطی در خاک با بافت سنگین با آب شور و لب شور مورد تأیید قرار گرفت. طراحی سامانه آبیاری باید مطابق با خصوصیات خاک، گیاه و شرایط اقلیم باشد. حتی برای سامانه های اجرا شده در شرایط شوری آب آبیاری، می توان با اجرای مدیریت های مختلف در مدل، بهترین مدیریت را برای آبشویی نمک ها اعمال نمود. به طوری که آب مورد نیاز برای منطقه توسعه ریشه فراهم شود و نمک ها در خارج از این محدوده تجمع یابند. پیشنهاد می شود در پژوهش های بعدی از این نرم افزار برای مطالعه مدیریت های مختلف کود آبیاری و یافتن مدیریت بهینه کود نیز استفاده گردد تا علاوه بر صرفه جویی اقتصادی از آلودگی آب ها جلوگیری شود.

منابع

1. Ahmadpour, H. 2013. Zoning of groundwater salinity in Guilan province and prediction of future status using a GIS-based simulation model. Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, 96p. (In Persian)
2. Abbasi, F., Feyen, J., and van Genuchten, M.Th. 2004. Two-dimensional simulation of water flow and solute transport below furrows: model calibration and validation. *J. Hydrol.* 290: 63-79.
3. Abbasi, F. 2007. Advanced soil physics. Tehran University, 250p. (In Persian)
4. Abbasi, F., and Tajik, F. 2007. Estimation of soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments using inverse modeling. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water Soil Sci.* 11: 1. 111-122. (In Persian)
5. Abdou, H.M., and Flury, M. 2004. Simulation of water flow and solute transport in free-drainage lysimeters and field soils with heterogeneous structures. *Europ. J. Soil Sci.* 55: 229-241.
6. Bannayan, M., and Hoogenboom, G. 2009. Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. *Field Crops Research.* 111: 290-302.
7. Cote, C.M., Bristow, K.L., Charlesworth, P.B., Cook, F.J., and Thorburn, P.J. 2003. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. *Irrigation Science.* 22: 143-156.
8. Cook, F.J., Fitch, P., Thorburn, P.J., Charlesworth, P.B., and Keith, L. 2006. Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. *Environmental Modelling & Software.* 21: 1353-1359.
9. Forkutsa, I., and Sommer, R. 2005. Imprecise simulation of salt dynamic and balance-aHydrus-1d flow? Proceeding of Workshop on HYDRUS Applications. Utrecht University, the Netherlands. October 19. Pp: 26-29.

10. Ghahreman, B. 2012. Soil physics. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 426p. (In Persian)
11. Jiusheng, Li., Zhang, J., and Rao, M. 2004. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. *Agricultural Water Management*. 67: 89-104.
12. Levy, G.J., Goldstein, D., and Mamedov, A.L. 2005. Saturated hydraulic conductivity of semiarid soils: combined effects of salinity, sodicity and rate of wetting. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 58: 653-659.
13. Liu, M.X., Yang, J.S., Li, X.M., Yu, M., and Wang, J. 2012. Effects of irrigation water quality and drip tape arrangement on soil salinity, soil moisture Distribution and cotton yield (*Gossypium hirsutum* L.) under mulched drip irrigation in Xinjiang, china. *J. Integ. Agric.* 11: 3. 502-511.
14. Maroufpour, E., Moazed, H., Kashkouli, H., and Moahamad Vali Samani, H. 2009. Laboratory investigation of the sampling method in tracer experiments on the dispersion coefficient of the aquifer, *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water Soil Sci.* 12: 46. 435-446. (In Persian)
15. Mmolava, Kh., and Or, D. 2000. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and soil*. 222: 163-190.
16. Pazira, A. 2012. Conservation of physical resources for agriculture production <<soil and water>>. National Committee of Irrigation and Drainage. 268p. (In Persian)
17. Phogat, V., Mahadevan, M., Skewes, M., and Cox, J.W. 2012. Modeling soil water and salt dynamics under pulsed and continuous surface drip irrigation of almond and implications of system design. *Irrigation Science*. 30: 315-333.
18. Radcliffe, D.E., and Simunek, J. 2010. Soil physics with HYDRUS modeling and applications. CRC press. Taylor and Francis Group, 373p.
19. Roberts, T.L., White, S.A., Warrick, A.W., and Thompson, T.L. 2008. Tape depth and germination method influence patterns of salt accumulation with subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*. 95: 669-677.
20. Roberts, T.L., Lazarovitch, N., Warrick, A.W., and Thompson, T.L. 2009. Modeling salt accumulation with subsurface drip irrigation using HUDRUS-2D. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 73: 233-240.
21. Shabanpoor, M. 2001. Comparison of three solute transport models using Bromide as a tracer. *J. Soil Water Sci.* 15: 2. 261-272. (In Persian)
22. Shan, Y., and Wang, Q. 2012. Simulation of salinity distribution in the overlap zone with double-point-source drip irrigation using HYDRUS-3D. *Austr. J. Crop Sci.* 6: 2. 238-247.
23. Simunek, J., Sejna, M., Saito, H., Sakai, M., and van Genuchten, M.Th. 2008. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-saturated Media. Version 4.0. HYDRUS Software Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA, USA, 315p.
24. Simunek, J., Sejna, M., and van Genuchten, M.Th. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. IGWMC-TPS 53, Version 2.0, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colo.
25. Siyal, A.A., and Skaggs, T.H. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural Water Management*. 96: 669-677.
26. Siyal, A.A., van Genuchten, M.Th., and Skaggs, T.H. 2013. Measured. solute transport in a loamy soil under subsurface porous clay pipe irrigation. *Agricultural Water Management*. 121: 73-80.
27. Skaggs, T.H., Trout, T.J., Šimunek, J., and Shouse, P.J. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. *J. Irrig. Drain. Engin.* 130: 4. 304-310.
28. Thorburn, P.J., Cook, F.J., and Bristow, K.L. 2003. Soil-dependent wetting from trickle emitters: implication for system design and management. *Irrigation Science*. 22: 121-127.

29. Van Ommen, H.C. 1988. Transport from diffuse source of contamination and its to a coupled unsaturated-saturated system. Ph.D. diss. Wageningen Agricultural Univ., Wageningen, the Neterlands.
30. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. L.A. Richards (ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. 83-126p. USDA Handbook. 60, U.S. Govt. Print Office, Washington DC.
31. Zeng, Ch., Wang, O., and Zhang, F. 2012. Evaluation of Hydraulic parameters obtained by different measurement methods for Heterogeneous gravel soil. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 23: 585-596.



Simulation of heterogeneous soil salinity under unsteady condition from a line source

F. Javadzadeh-Shakhali¹, *M.R. Khaledian², M. Navabian² and P. Shahinroksar³

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, University of Guilan, ²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Guilan and Dept. of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, Rasht, ³Researcher at Research Center for Agriculture and Natural Resources, Rasht

Received: 01/21/2014; Accepted: 10/14/2014

Abstract

Background and Objectives: Limitation of water resources has led to unusual waters applications and the use of high-efficiency irrigation systems such as drip irrigation in some areas. The mismanagement of water resources has caused increases the accumulation of salts in the soil. Due to the executive limitations of field experiments such as high cost and time-consuming, using of simulator models for studying different management scenarios is recommended. Purpose of this research is evaluation of the salt transport in heterogeneous heavy soil and unsteady conditions with estimating hydraulic and solute transport parameters using inverse solution with the HYDRUS-2D model.

Materials and Methods: Drip irrigation system was applied as a line source and was done with water salinity of 1.279, 2.5 and 5 dS/m. Soil profiles were drilled to 40cm depth and networking with dimensions of 10 × 10 cm was performed. 48 hours after irrigation. In order to check the status of solute, sampling from beneath the tape and horizontal distance of 20 cm from the tape was used to determine the salinity of the soil saturation extract. E_c observed values of field experiments were compared with E_c simulated values using statistical indices i.e. nRMSE and CRM.

Results: Simulated soil salinity values were slightly lower than the observed values. Also it was observed that the maximum amount of salinity was in the surface layer of soil, this could indicate the need for salt leaching in cases such as the early stages of plant growth which is more sensitive to salinity. According to HYDRUS model estimations, ranges of longitude dispersion coefficient (DL) and transverse dispersion coefficient (DT) were between 24.57-39.56 (cm) and 0.1298-5.2680 (cm), respectively; These differences in coefficients of different may be due to the soil heterogeneity and the high spatial variability in soil transformation parameters. Ranges of nRMSE for beneath the tape and the horizontal distance were between 2.79-18.49% and 3.084-20%, respectively. Simulations placed in good to excellent category. Ranges of CRM for beneath the tape were between -0.049 and 0.097 and the horizontal distance were between -0.065 and 0.081.

Conclusion: Despite heavy soil texture and soil heterogeneity in the study area and according to statistical indices i.e. nRMSE and CRM, HYDRUS-2D model could estimate satisfactorily the hydraulic and the solute transport parameters using inverse solution and simulated salinity with good quality; Thus, this model can be used as a suitable tool for the design and management of drip irrigation with saline and brackish water.

Keywords: Accumulation of salt, HYDRUS-2D, Saline water

* Corresponding Author; Email: khaledian@guilan.ac.ir