Archive of SID

اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار
تهران - ۸ اسفندماه ۱۳۹۲

شبیه‌سازی الگوی توزیع شوری در پروفیل خاک تحت سیستم آبیاری جویچه‌ای با آب شور توسط مدل Hydrus-1D

ناصر فکوری منزه
دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز _ nfm151@yahoo.com
سعید برومند نسب
استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز _ Boroomand@scu.ac.ir
عبدالرحیم هوشمند
استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز _ Hooshmand_a@scu.ac.ir

چکیده

به منظور شبیه‌سازی الگوی توزیع شوری در پروفیل خاک تحت سیستم آبیاری جویچه‌ای توسط مدل هایدروس یک بعدی[1] و ارزیابی این مدل، داده برداری از سیستم آبیاری جویچه‌ای اجرا شده در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. در سیستم آبیاری جویچه‌ای، آب آبیاری شامل سه سطح شوری مختلف بوده که نمونه برداری از خاک و استخراج داده‌های شوری از هر سه سطح شوری انجام شد. پس از انجام مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل هایدروس یک بعدی، نتایج توسط شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد این مدل میزان شوری پروفیل خاک را در تمامی سطوح شوری آب آبیاری به شکل نسبتا مطلوبی شبیه‌سازی نمود. بهترین شبیه‌سازی مربوط به لایه ۳۰-۰ سانتی‌متر بوده و با افزایش عمق از دقت مدل کاسته شد. این مدل به طور کلی میزان شوری را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است.

واژه‌های کلیدی: الگوی توزیع شوری، سیستم آبیاری جویچه‌ای، شبیه‌سازی، Hydrus-1D.

مقدمه

در شرایطی که کشور ایران از لحاظ کمبود منابع آب شیرین کافی رنج می‌برد و بحران آب به صورت یک مسئله جدی مطرح می‌باشد، توجه به منابع آب‌های نامتعارف یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. استفاده از منابع آبی نامتعارف مانند پساب

[1] Hydrus-1D

www.SID.ir

Archive of SID

فاضلاب‌ها و آب‌های شور و لب شور در کشاورزی، بررسی تغییرات خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت چنین شرایطی از اهمیت خاصی برخوردار می‌کند (صالح و همکاران،۱۳۸۷).

www.SID.ir

Archive of SID

از مشکلات عمده در رابطه با آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک تجمع شوری و املاح در نیمرخ خاک می‌باشد. آب آبیاری حتی اگر از بهترین نوع نیز باشد، مقداری املاح را به داخل خاک منتقل کرده و باعث افزایش غلظت نمک در خاک می‌گردد. پارسایی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای به منظور شبیه سازی انتقال کلراید در خاکی با بافت سیلتی کلی لوم در شمال خوزستان با استفاده از مدل هایدروس یک بعدی، نشان دادند که بین نتایج حاصل از اندازه‌گیری و شبیه سازی به خصوص در عمق‌های سطحی منطقه تطابق وجود دارد.

راموس و همکاران[1] (۲۰۰۸) به منظور بررسی انتقال املاح در دو نوع خاک با بافت متوسط و درشت تحت شرایط مزرعه در طی سه سال از مدل هایدروس یک بعدی استفاده کردند. آن‌ها نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی میزان آب، غلظت سدیم، کلسیم، منیزیم و شوری محلول خاک و نسبت جذبی سدیم را با هم مقایسه کردند. پیش‌بینی مدل برای اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای میزان آب، شوری و غلظت سدیم محلول موفقیت آمیز بود، در حالی که برآورد کلسیم، منیزیم و نسبت جذبی سدیم کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. در خاتمه آنان مدل هایدروس یک بعدی را به عنوان ابزار موثری برای مدیریت آبیاری و پیش‌بینی اثرات کیفیت آب آبیاری بر روی کیفیت آب زیرزمینی و خاک معرفی کردند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه آزمایشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا گردید، که دارای موقعیتی با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و۴۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد. شهر اهواز از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود.

در سیستم آبیاری سطحی اجرا شده، آب آبیاری در ابتدا آب رودخانه کارون بوده و پس از استقرار گیاه ذرت تیمارهای شوری اعمال گردیدند. این تیمارها شامل سه سطح شوری T1=۳ ، T2=۴ و T3=۴ دسی‌زیمنس بر متر بوده که نمونه برداری از خاک و استخراج داده‌های شوری از کرت‌های هر سه سطح شوری انجام شد. این نمونه برداری‌ها در سه مرحله به ترتیب قبل از آبیاری‌ها، پس از آبیاری با آب رودخانه کارون و پس از اعمال تیمارهای شوری صورت گرفت.

برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه به تفکیک لایه‌های خاک در جدول (۱) تشریح گردیده است.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق (mm)	PH	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	بافت خاک	فراوانی اندازه ذرات خاک (درصد)		
				شن	سیلت	رس
۰-۳۰	۷/۵	۱/۴	Si-L	۲۵/۳	۵۲/۱	۲۲/۶
۳۰-۶۰	۷/۶۵	۱/۵۵	Si-L	۲۵	۵۱/۵	۲۳/۵
۶۰-۹۰	۷/۸	۱/۶	Si-L	۲۵/۲	۵۱/۷	۲۳/۱
۹۰-۱۲۰	۷/۸۱	۱/۷۵	Si-L	۲۴/۱	۵۲	۲۳/۹

[1] Ramos *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

مدل هایدروس یک بعدی، بسته نرم‌افزاری است که به منظور شبیه سازی حرکت آب و املاح و حرارت درون محیط‌های متخلخل در شرایط اشباع و غیراشباع ارائه شده است. با استفاده از حل عددی معادله ریچاردز، معادله سی-دی-ای[1] و معادله فیک به ترتیب جریان آب، املاح و حرارت در خاک را پیش‌بینی می‌کند (سیمونک و همکاران[2]، ۲۰۰۵). مهمترین داده‌های ورودی مدل شامل اطلاعات پروفیل خاک، چگالی خاک، بافت خاک، شوری اولیه خاک، رطوبت اولیه خاک، پارامترهای مربوط به هواشناسی، میزان تبخیر وتعرق، شوری آب آبیاری و میزان آن می‌باشد.

شرایط اولیه توزیع شوری در خاک عبارت بود از مقدار شوری موجود در خاک قبل از اعمال آبیاری‌ها که برای عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری گردیده و به مدل معرفی شد. فرض بر آن گذاشته شد که جریانی از جوانب صورت نمی‌گیرد و مرز انتهایی مرز زهکش آزاد بوده است.

در این مطالعه برای تعیین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع از معادله وانگنختین-معلم استفاده شد و ضرایب ثابت موجود در آن با نرم افزار روزتا[3] و با استفاده از توابع انتقالی درصد شن، سیلت، و رس به همراه جرم مخصوص ظاهری خاک و درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم تعیین گردید. بر این اساس خصوصیات هیدرولیکی خاک به شرح جدول (۲) برآورد گردید.

جدول (۲): پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از مدل روزتا

K_S (cm/day)	n	A (cm^{-1})	θ_S (cm^3/cm^3)	θ_r (cm^3/cm^3)
۱۱/۶۷	۱/۴۵۱۲	۰/۰۰۵۸	۰/۴۱۳۷	۰/۰۵۷۶

در جدول (۲)، θ_S: رطوبت اشباع خاک، θ_r: رطوبت باقی‌مانده خاک، α عکس نقطه ورود هوا به داخل خاک، n: شاخصی از توزیع اندازه خلل و فرج در خاک و K_S: هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر روز) می‌باشند.

کالیبراسیون پارامترهای ورودی مدل با روش مدل‌سازی معکوس صورت می‌گیرد. در این بررسی کالیبراسیون پارامترهای هیدرولیکی خاک مورد نیاز مدل با استفاده از داده‌های شوری خاک اندازه‌گیری شده در مرحله دوم نمونه‌برداری‌ها انجام شد. مقادیر بهینه شده پارامترهای هیدرولیکی خاک در جدول (۳) ارائه گردیده است.

جدول (۲): مقادیر بهینه شده پارامترهای هیدرولیکی خاک توسط مدل‌سازی معکوس

K_S (cm/day)	n	α (cm^{-1})	θ_S (cm^3/cm^3)	θ_r (cm^3/cm^3)
۱۸/۷۳	۱/۰۹۸۹	۰/۰۰۲۴	۰/۴۸۰۲	۰/۰۸۷۸

جهت صحت سنجی مدل از داده‌های نوبت سوم نمونه‌برداری‌ها استفاده گردید.

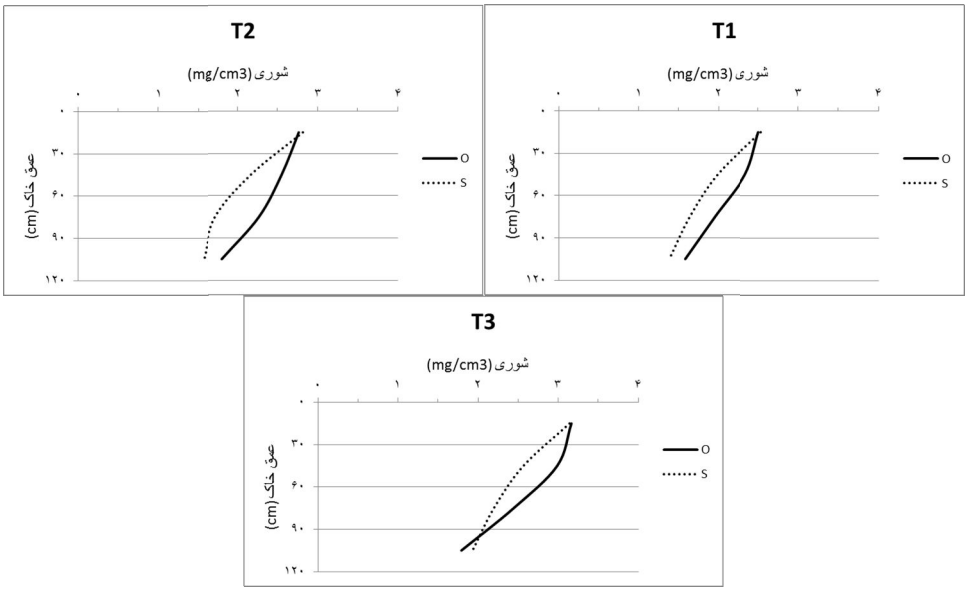
[1] CDE, (Convection-Dispersion Equation)
[2] Simunek *et al.*
[3] Rosetta

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

در شکل (۱) مقادیر مشاهده شده شوری به تفکیک تیمارها همراه با مقادیر شبیه‌سازی شده رسم گردیده‌اند که در آن‌ها O(avg) مقدار متوسط شوری مشاهده شده در پروفیل خاک تیمار و S بیانگر مقدار شبیه‌سازی شده متناظر آن می‌باشد.



شکل (۱): نتایج حاصل از شبیه‌سازی شوری در سیستم آبیاری سطحی

با توجه به نتایج حاصله، این نکته قابل ذکر است که مدل مقادیر شوری در لایه ۳۰-۰ را در تمامی تیمارها با کمترین میزان خطا شبیه‌سازی نموده است، اما در سایر عمق‌ها مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر از مقادیر مشاهده شده می‌باشد. دلیل این ناهمگونی را می‌توان منتسب به وجود جریان غیر یکنواخت و غیراشباع آب در خاک و همچنین به وقوع پیوستن جریان‌های ترجیحی در سیستم آبیاری سطحی دانست که مانع شبیه‌سازی با دقت مناسب توسط مدل گردیده است.
در جدول (۳) نتایج شبیه‌سازی شوری و مقادیر مشاهده شده به تفکیک تیمارهای شوری مورد ارزیابی آماری قرار گرفتند.

جدول (۳): مقایسه آماری شوری شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده به تفکیک تیمارهای شوری

تیمارهای شوری	شاخص آماری							
	ME	RMSE	R^2	CRM	$\overline{S_s}$	$\overline{S_o}$	$\overline{S_s} - \overline{S_o}$	درصد اختلاف
T1	۰/۳۴۶	۱۲/۱۷۷	۰/۸۹۶	۰/۰۹۹	۱/۸۸۸	۲/۰۹۵	-۰/۲۰۷	-۱۰/۹۸
T2	۰/۵۵۰	۱۵/۱۵۸	۰/۸۱۶	۰/۱۱۸	۲/۰۶۸	۲/۳۴۶	-۰/۲۷۸	-۱۳/۴۶۱

www.SID.ir

Archive of SID

T3	۰/۴۲۲	۹/۸۰۳	۰/۸۴۶	۰/۰۵۳	۲/۴۵۹	۲/۵۹۸	-۰/۱۳۹	-۵/۶۳۹

مطابق این جدول نتایج حداکثر خطا[1] در تیمار T1 کمترین مقدار را دارا بوده است که نشان دهنده خطای کمتر در برآورد میزان شوری توسط مدل در این تیمار می‌باشد. کمترین مقدار ریشه دوم خطا[2] مربوط به تیمار شوری T3 می‌باشد و مابقی در رده‌های بعدی قرار دارند. مقادیر آماره ضریب تعیین[3] برای تیمار شوری T1 تا T3 به ترتیب برابر ۰/۸۹۶، ۰/۸۱۶و ۰/۸۴۶ می‌باشد که نشان می‌دهد بیشترین همبستگی در تیمار T1 و کمترین آن تیمار T2 بوده است. نتایج شاخص ضریب باقی‌مانده جرم[4] از نظر علامتی همگی مثبت می‌باشند که عنوان کننده کمتر بودن مقادیر شبیه‌سازی شده نسبت به مقادیر مشاهده شده در تمامی تیمارها می‌باشد. همان گونه که مشاهده می‌گردد اختلاف میانگین‌های محاسبه شده تصدیق کننده نتایج شاخص ضریب باقی‌مانده جرم می‌باشند. در ستون آخر درصد اختلاف مقادیر شوری شبیه‌سازی شده و مشاهده شده نشان می‌دهد که مدل در تیمار شوری T3 به میزان ۵/۶۳۹ درصد، در تیمار شوری T1 به میزان ۱۰/۹۸ درصد و در تیمار شوری T2 به میزان ۱۳/۴۶۱ درصد مقدار شوری را کمتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی نموده است.

جدول (۴) نتایج شبیه‌سازی و مقادیر مشاهده شده را که به تفکیک عمق‌های مختلف خاک مورد ارزیابی آماری قرار گرفتند ارائه می‌کند.

جدول(۴): مقایسه آماری شوری شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده به تفکیک عمق‌های خاک

عمق (cm)	شاخص آماری							
	ME	RMSE	R^2	CRM	$\overline{S_s}$	$\overline{S_o}$	$\overline{S_s} - \overline{S_o}$	درصد اختلاف
۰-۳۰	۰/۰۷۷	۱/۷۵۳	۰/۹۷۵	-۰/۰۰۷	۲/۸۰۲	۲/۷۸۴	۰/۰۱۸	۰/۸
۳۰-۶۰	۰/۴۲۲	۱۲/۶۹۸	۰/۸۹۸	۰/۱۱۷	۲/۲۰۹	۲/۵۰۳	-۰/۲۹۴	-۱۳/۳
۶۰-۹۰	۰/۶۴۵	۱۹/۶۶۱	۰/۷۱	۰/۱۸۲	۱/۸۱۳	۲/۲۱۸	-۰/۴۰۵	-۲۲/۳
۹۰-۱۲۰	۰/۲۵۸	۱۱/۲۰۳	۰/۷۳۹	۰/۰۷۲	۱/۵۸۴	۱/۷۰۷	-۰/۱۲۳	-۷/۸

همانطور که ملاحظه می‌گردد کمترین میزان شاخص حداکثر خطا مربوط به لایه ۳۰-۰ می‌باشد و بیشترین مقدار آن را لایه ۹۰-۶۰ به خود اختصاص داده است. کمترین مقدار آماره ریشه دوم خطا نیز مربوط به لایه ۳۰-۰ می‌باشد. مقادیر آماره ضریب تعیین نیز در ستون چهارم به ازای عمق‌های مختلف ارائه گشته که بیشترین آن در لایه ۳۰-۰ به وقوع پیوسته است. شاخص ضریب باقی‌مانده جرم نیز به استثناء لایه ۳۰-۰ در سایر لایه‌ها دارای علامت مثبت می‌باشد که نشان از کمتر بودن مقدار شبیه‌سازی نسبت به مشاهدات در این لایه ها دارد، اما در لایه ۳۰-۰ مقدار این شاخص منفی است که بیانگر برآورد بیشتر مدل در این لایه می‌باشد. این موضوع در ستون آخر نیز تحت عنوان درصد اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده ارائه گشته است. همانطور که مشاهده می‌گردد مدل شوری را در لایه ۳۰-۰ به میزان ۰/۸ درصد از مقدار مشاهده شده بیشتر

[1] ME. (Maximum Error)
[2] RMSE. (Root Mean Square Error)
[3] R^2. (Coefficient of determination)
[4] CRM. (Coefficient of determination)

www.SID.ir

Archive of SID

برآورد نموده است و در لایه های بعدی به ترتیب ۱۳/۳، ۲۲/۳ و ۷/۸ درصد کمتر از آنچه که مشاهده گردیده برآورد کرده است.

نتیجه‌گیری

مدل هایدروس یک بعدی در سیستم آبیاری سطحی میزان شوری پروفیل خاک را در تیمارهای T1، T2و T3 به ترتیب به میزان ۱۰/۹۸، ۱۳/۴۶۱و ۵/۶۳۹ درصد کمتر از میزان مشاهده شده برآورد نمود.

این مدل در سیستم آبیاری سطحی به طور کلی میزان شوری را در لایه ۳۰-۰ به میزان ۰/۸ درصد بیشتر از میزان مشاهده شده برآورد نمود، اما در لایه‌های ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ به ترتیب به میزان ۱۳/۳، ۲۲/۳، ۷/۸ درصد مقدار شوری کمتر از واقعیت تخمین زده شد.

مدل هایدروس یک بعدی شوری پروفیل خاک را به تفکیک تیمارهای شوری به شکل نسبتا مطلوبی برآورد نموده است، به طوری که ضرایب همبستگی قابل قبولی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده حاصل گشته است اما در تخمین شوری خاک به تفکیک لایه‌های آن، بهترین ضریب همبستگی مربوط به لایه ۳۰-۰ بوده و با افزایش عمق از دقت مدل کاسته شده است.

به طور کلی مدل هایدروس یک بعدی در مقیاس مزرعه‌ای نسبتا توانایی شبیه‌سازی پروفیل شوری خاک را داشته و میزان شوری را عموما کمتر از میزان واقعی برآورد می‌کند که این امر استفاده از این مدل را در برنامه‌ریزی‌های مدیریت آبیاری به صورت محتاطانه امکان پذیر می‌سازد.

منابع

۱) پارسایی، ن.، صیاد، غ.ع.، ا.، لندی، ۱۳۸۹، شبیه‌سازی حرکت کلراید در خاکی با بافت سیلتی کلی لوم در شمال خوزستان، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

۲) صالح، ا.، مراد، ح.ع.، ش.، احمدی، ۱۳۸۷، بررسی تاثیر استفاده از پساب شهری و روش های مختلف آبیاری بر توزیع شوری و رطوبت نیمرخ خاک در منطقه نیمه خشک دشت کربال، سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع مالی عالی تجدید شونده در کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خورسگان، دانشکده کشاورزی، اصفهان.

3) Ramos, T.B., Goncalves, M.C., Prazeres, A., Martins, J.C., 2008, "Multicomponent solute transport in two multifactorial experiments," The second HYDRUS Workshop, Czeck University of scences, Prague,Faculty of Agrobiology, Food and natural resources, 13-20.

4) Simunek J., VanGenuchten, M.T., Sejna, M., 2005, "The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One Dimensional Movement of Water, Heat, And Multiple Solutes in Variably Saturated Media," Version 3.0, Department of Environmental Sciences, University of California, Riverside.

www.SID.ir