

ارزیابی کارایی مدل‌های نظری آبخوئی املاح خاک در دشت آزادگان

مریم محمدزاده^۱، مهدی همایی^۲، صفورا اسدی کیورچال^۳ و مهناز اسکندری^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸

مقاله پژوهشی

چکیده

شوری منابع آب و خاک یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که رشد و توسعه گیاهان را محدود می‌نماید. یکی از راهکارها برای غلبه بر مشکل شوری خاک، آبخوئی آن است. ارزیابی مقدار آب مورد نیاز در این فرآیند، صرفه‌جویی در مصرف آب و استفاده بهینه از منابع آبی به‌منظور مدیریت صحیح آب از پراهمیت‌ترین موارد در اجرای آبخوئی است. هدف از این پژوهش، بررسی مدل‌های نظری برای شبیه‌سازی شوری نهایی و مقایسه آن با مقادیر واقعی بود. بدین منظور آزمایش‌های اصلاح خاک‌های شور و سدیمی در منطقه جفیر در دشت خوزستان به‌روش مزرعه‌ای از طریق استوانه‌های مضاعف انجام پذیرفت. در تمام آزمایش‌ها، آبخوئی به روش غرقاب متناوب تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متر خاک با کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبخوئی و تناوب ۲۵ سانتی‌متری صورت پذیرفت. چهار مدل نظری آبخوئی شامل سری مخازن (SRM)، مدل حل عددی (NM)، مدل ستون پیوسته (TPTM) و مدل مخزن با مجرای فرعی (SRBM) به‌منظور پیش‌بینی شوری نهایی خاک و مقایسه آن با مقادیر واقعی انتخاب شدند. نتایج نشان داد دو مدل سری مخازن و مخزن منفرد کارایی بیشتری داشته‌اند. در نهایت، هرچند که به ازای عمق‌های مختلف آب آبخوئی، عملکرد مدل‌های مورد بررسی متفاوت بوده، لیکن با توجه به پایین‌تر بودن آماره‌های RMSE و RMSEn در مدل سری مخازن نسبت به سایر مدل‌ها، این مدل برای پیش‌بینی نتایج حاصل از آبخوئی و اصلاح خاک منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر بوده و شوری نهایی را با دقت بیشتری برآورد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آبخوئی، خاک شور، خاک سدیمی، مدل‌سازی

^۱ سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خوزستان، اداره مهندسی و مطالعات، اهواز، خوزستان، ایران
Maryam_mohamadzadeh@yahoo.com ۰۹۱۶۳۰۳۰۷۲۱

^۲ استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ۰۲۱-۴۸۲۹۲۵۸۲ mhomaee@modares.ac.ir
(نویسنده مسئول)

^۳ استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ایران ۰۹۱۲۶۸۷۳۳۶۷ safoorasadi@guilan.ac.ir

^۴ استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران ۰۹۱۷۸۸۷۱۲۱۴
m.skandari@areeo.ac.ir

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت جهان و نیاز بیشتر بشر به تولیدات کشاورزی سبب بهره‌برداری بیش از حد منابع طبیعی در دهه‌های اخیر شده است. تخریب خاک، کاهش حاصلخیزی، آلودگی خاک‌ها و شور و سدیمی شدن آن‌ها نمونه‌هایی از خسارات جبران‌ناپذیری است که توسط انسان به منابع طبیعی وارد شده است. خشک‌سالی، کمبود منابع آب قابل استفاده و نیز تجمع نمک‌های محلول در خاک از عوامل اصلی محدودکننده بهره‌وری کشاورزی و عامل بازدارنده‌ای برای رسیدن به کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌شمار می‌آید (Jalali et al., 2017; Asadi & Kapourchal et al., 2009).

تراکم و انباشت نمک‌ها در نیمرخ خاک بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از جمله فشار اسمزی، نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی به‌گونه‌ای اثر می‌گذارد که رشد و نمو گیاهان زراعی و باغی دچار اختلال جدی شده و یا به طور کامل متوقف می‌شود. کاهش مقاومت، کاهش رشد و توسعه ریشه، کاهش عملکرد و در موارد شدیدتر از بین رفتن محصولات زراعی از عمده‌ترین اثرات تجمع نمک بر کشاورزی است (Esmaili et al., 2008).

شور شدن خاک‌ها ممکن است به صورت طبیعی و یا بر اثر فعالیت‌های انسانی ایجاد شود (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲). در هر حال گستردگی وسیع خاک‌های شور در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، یکی از چالش‌های مهم جوامع بشری به‌شمار می‌رود. به همین منظور تاکنون پژوهش‌هایی پرشمار پیرامون این مسئله انجام شده است (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲). با انجام مدیریت صحیح و استفاده از روش‌های بهینه می‌توان اثرات مضر شوری را کاهش داد و سبب افزایش حاصلخیزی خاک‌های شور شد. با استفاده از مقدار کافی آب آبخویی با کیفیت مناسب، می‌توان نمک‌های اضافی را از نیمرخ خاک و ناحیه رشد ریشه گیاهان خارج کرد (Asadi & Kapourchal et al., 2013). نمک‌های محلول که همراه با آب آبیاری و یا سایر منابع وارد

نیمرخ خاک می‌شوند، بخش مهمی از نمک محیط ریشه گیاه را تشکیل می‌دهند. این املاح طی پدیده‌های پخشیدگی و انتقال و همچنین فعل و انفعالات درونی محلول خاک، در منطقه‌ی توسعه ریشه تجمع یافته و یا به همراه آب آبخویی به خارج از این منطقه منتقل می‌شوند. شناخت این پدیده‌ها به منظور مدیریت اراضی برای جلوگیری از شوری خاک و تأثیر آن بر گیاه، حائز اهمیت است.

اهمیت آبخویی سبب شده است که مدل‌های تجربی و نظری گوناگونی برای تعیین و پیش‌بینی این فرآیند ارائه شوند. مدل‌های تجربی حاصل داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و میدانی هستند که بر یک رابطه ریاضی برازش داده می‌شوند. در اشتقاق مدل‌های تجربی از پیش‌فرض‌های فیزیکی و ریاضی استفاده نمی‌شود (اسدی کپورچال و همکاران، ۱۳۹۱). در مقابل برای اشتقاق مدل‌های نظری، از پیش‌فرض‌های فیزیکی و ریاضی استفاده شده و به همین دلیل دامنه کاربرد آن‌ها گسترده‌تر از مدل‌های تجربی است.

در میان مدل‌های ریاضی، مدل اولیه شوری توسط موسسه USDA-ARS در سال ۱۹۴۵ و مدل اصلاح شده آن توسط Rhoades در سال ۱۹۷۴ ارائه شد. سپس مدل‌های WATSUIT، مدل تابع تولید آب، مدل TETrans، مدل UNSATCHEM، مدل شرایط، مدل‌های ناپایدار MACRO، و مدل ENVIRO_GRO برای بهبود و اصلاح خاک‌های شور بسط و توسعه یافتند.

مطالعات پیشین در زمینه آبخویی و اصلاح خاک-های شور نشان داده است که مقدار آب مورد نیاز برای آبخویی نمک‌ها به مقدار شوری اولیه، بافت، عمق خاک و روش آبخویی بستگی دارد (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲). استفاده از روش‌های آبیاری متناوب، غرقابی و بارانی، در کاهش شوری خاک به سطح آستانه تحمل گیاه، نتایج متفاوت، لیکن قابل قبولی را نشان داده است. Yitayew and Reynolds (1977) به ارزیابی حرکت آب و نمک از یک منبع نقطه‌ای در شرایط مزرعه‌ای



شوری نهایی خاک در هر منطقه مطالعاتی پس از آبشویی داشته است. با توجه به این مسئله که عامل اصلی تجمع نمک در خاکها کمبود آب می‌باشد و تعیین دقیق مقدار آب مورد نیاز برای آبشویی و استفاده بهینه از منابع آبی به منظور مدیریت صحیح آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، در این پژوهش چهار مدل نظری آبشویی شامل مدل سری مخازن (SRM)، مدل حل عددی (NM)، مدل ستون پیوسته (TPTM) و مدل مخزن با مجرای فرعی (SRBM) برای پیش-بینی مقدار شوری نهایی در منطقه جفیر در جنوب دشت خوزستان انتخاب شدند. در نهایت نتایج به دست آمده با داده‌های واقعی حاصل از آزمایش‌های صحرایی مقایسه شد تا مناسب‌ترین مدل نظری تعیین شود.

مواد و روش‌ها

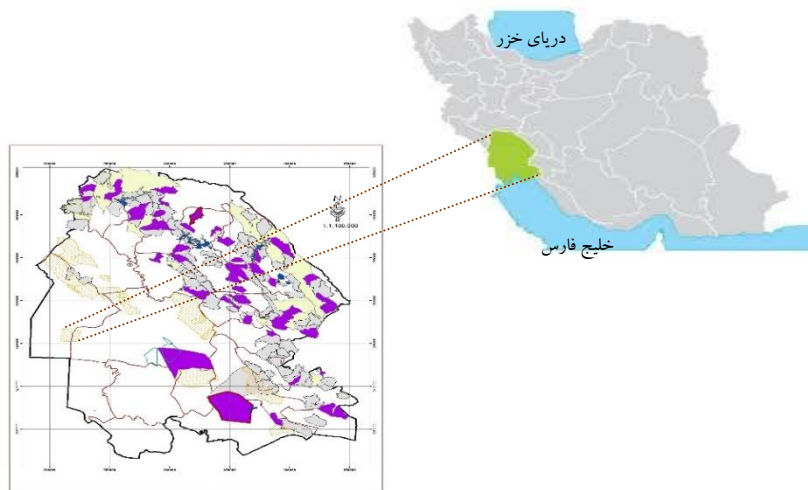
در این پژوهش، آزمایش‌های آبشویی در ۳ سری سلمان، کرخه و سابله از منطقه جفیر در جنوب دشت خوزستان انجام شد. منطقه مورد مطالعه با وسعت ۴۰۰۰ هکتار از توابع بخش هویزه شهرستان دشت آزادگان و در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان اهواز بین طول شرقی $30^{\circ} 2' 48''$ تا $44^{\circ} 16' 48''$ و عرض شمالی $30^{\circ} 57' 30''$ تا $31^{\circ} 11' 40''$ واقع است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این منطقه دارای تابستان‌های گرم و طولانی با بیشینه و کمینه دمای بین ۵۴ تا ۱ درجه سانتی‌گراد، با بارندگی سالانه ۳۵۰-۲۵۰ میلی‌متر است. منطقه مورد مطالعه دشتی رسوبی بوده که دارای شیبی ملایم به سمت جنوب و جنوب‌غربی است. مواد مادری خاک‌های منطقه بر اثر فعالیت دو رودخانه کارون و کرخه به وجود آمده است. این رودخانه‌ها با ایجاد فرسایش در حوضه آبریز (عمدتاً مواد آهکی و مارنی) و حمل این مواد به دشت خوزستان، مواد مادری خاک‌های منطقه را به وجود آورده‌اند. نفوذپذیری این خاک‌ها از متوسط تا آهسته متغیر است. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به ترتیب اریدیک و هایپرترمیک است. سری سابله در طبقه‌بندی آمریکایی جزء خاک‌های Fine

پرداختند. نتایج آنها نشان داد که توزیع نمک از یک منبع جریان آب نقطه‌ای در نقطه استقرار منبع بیشتر است و به طور شعاعی و عمقی کاهش می‌یابد. دلیل این مسئله، تبخیر زیاد و در نتیجه تجمع نمک در آن نقطه است و در جریان‌های شدیدتر این نمک به نقاط دورتر منتقل می‌شود. Burns (1974) مدل ساده‌ای برای انتقال املاح ارائه کرد که می‌تواند مستقیماً توزیع مجدد املاح را در جریان رو به پایین (آبشویی) و رو به بالا (توزیع مجدد رطوبت و تبخیر) برآورد کند. تفسیر Burns این بود که مدل‌های کلاسیک انتقال املاح مانند CDM، توزیع مجدد املاح تحت تأثیر تبخیر را در نظر نمی‌گیرند. اهمیت فرآیند آبشویی سبب شده است که از مدل‌های تجربی زیادی در تعیین و پیش‌بینی این فرآیند استفاده شود که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های Dieleman, ; Reeve, 1957; Verma and Gupta, Hoffman, 1980; 1963; 1989 اشاره کرد. در تمام مطالعات صورت گرفته، از منحنی‌های آبشویی در تعیین مقدار آب لازم برای آبشویی استفاده شده است.

از آنجاکه کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است، مطالعات بسیاری در زمینه‌ی اصلاح خاک‌های شور در کشور به‌ویژه در دشت خوزستان صورت گرفته که منتج به اشتقاق مدل‌های تجربی (Asadi et al., 2011؛ اسدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲) و نظری شده است. پروانک بروجنی (۱۳۸۰) طی آزمایش‌های آبشویی در خاک‌های شور و سدیمی خوزستان، پس از اندازه‌گیری میزان شوری اولیه و نهایی لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری، بر اساس هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و نیز محاسبه شوری نهایی به کمک چهار مدل شوری‌زدایی، مدل سری مخازن با مجرای فرعی (STM)، مدل ستون پیوسته خاک (TPTM)، مدل حل عددی (MM) و مدل انتقال - انتشار (CDM)، با استفاده از روش مجموع مربعات تفاوت‌ها، به این نتیجه رسیدند که مدل سری مخازن بیشترین دقت و هم‌خوانی با واقعیت را در پیش‌بینی

Haplosalids محسوب می‌شوند. بر اساس مطالعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی از نظر شوری و سدیمی بودن، سری‌های خاک مورد مطالعه در کلاس S_3A_2 طبقه‌بندی شده‌اند (Mahler, 1979).

carbonatic, hyperthermic, Fluventic, Haplo Fine loamy, Cambids سری خاک کرخه جزء carbonatic, hyperthermic, Typic و Torrifuvent سری خاک سلمان جزء خاک‌های Fine, carbonatic, hyperthermic, Gypsic



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

محاسبه شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های جمع‌آوری شده از سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه و تغییرات آن با عمق خاک، پیش از آیشویی در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. پس از انجام آزمون‌های آیشویی، چهار مدل نظری آیشویی شامل مدل سری مخازن (SRM)، مدل حل عددی (NM)، مدل ستون پیوسته (TPTM) و مدل مخزن با مجرای فرعی (SRBM) به منظور ارزیابی کارایی مناسب‌ترین مدل نظری پیش‌بینی شوری نهایی خاک بررسی و نتایج با داده‌های واقعی به‌دست آمده از آزمایش صحرایی مقایسه شدند.

آیشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک با استفاده از آب رودخانه کارون انجام شد. در مرحله اول برای بررسی امکان شوری‌زدایی خاک‌های منطقه، سه آزمون به روش استوانه‌های دوگانه و در یک آرایش دایره‌ای انجام شد. عمق آب کاربردی ۱۰۰ سانتی‌متر بوده که در ۴ تناوب ۲۵ سانتی‌متری اعمال گردید. نمونه‌برداری از اعماق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ و ۱۵۰-۱۰۰ سانتی‌متر انجام شد. نمونه‌های خاک پیش و پس از کاربرد هر تناوب آیشویی برداشت و برای اعمال تجزیه‌های لازم به آزمایشگاه ارسال گردید. بدین ترتیب مقادیر شوری عصاره اشباع خاک برای لایه‌های ۰-۲۵، ۰-۵۰، ۰-۷۵، ۰-۱۰۰ و ۰-۱۵۰ پیش و پس از آیشویی

جدول (۱): برخی ویژگی‌های فیزیکی سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه پیش از آیشویی

سری خاک	عمق نمونه برداری (cm)	میزان رطوبت خاک			فراوانی نسبی						
		پیش از آیشویی (%)	ظرفیت زراعی (%)	نقطه پژمردگی	جرم ویژه ظاهری (g/cm ³)	تخلخل کل (%)	کسر رطوبت تجمعی (cm)	شن	سیلت	رس	
سری سابله	۲۵-۰	۵/۵۰	۱۵/۰۰	۸/۰۰	۱/۵۵	۴۰/۳۸	۳/۶۸	۴۴/۰۰	۳۸/۰۰	۱۸/۰۰	L
	۵۰-۲۵	۱۱/۵۰	۲۴/۰۰	۱۲/۰۰	۱/۶۰	۳۸/۹۳	۸/۶۸	۲۶/۰۰	۴۶/۰۰	۲۸/۰۰	C
	۷۵-۵۰	۱۰/۳۰	۲۵/۰۰	۱۳/۰۰	۱/۶۰	۳۸/۷۰	۱۴/۵۶	۱۴/۰۰	۵۸/۰۰	۲۸/۰۰	SiCL
	۱۰۰-۷۵	۸/۷۰	۲۶/۰۰	۱۳/۰۰	۱/۶۵	۳۶/۵۴	۲۱/۷۰	۱۴/۰۰	۵۲/۰۰	۳۴/۰۰	SiCL
	۱۵۰-۱۰۰	۸/۹۰	۲۷/۰۰	۱۳/۰۰	۱/۶۵	۳۶/۵۴	۳۶/۶۳	۱۸/۰۰	۴۶/۰۰	۳۶/۰۰	SiCL
سری کرخه	۲۵-۰	۰/۹۰	۱۴/۰۰	۸/۰۰	۱/۶۰	۳۸/۴۶	۵/۲۴	۵۰/۰۰	۳۶/۰۰	۱۴/۰۰	L
	۵۰-۲۵	۰/۸۴	۱۲/۰۰	۵/۰۰	۱/۶۰	۳۸/۴۶	۹/۷۰	۵۲/۰۰	۳۶/۰۰	۱۲/۰۰	SL
	۷۵-۵۰	۲/۰۰	۹/۰۰	۵/۰۰	۱/۶۰	۳۸/۴۶	۱۲/۵۰	۶۶/۰۰	۲۶/۰۰	۸/۰۰	SL
	۱۰۰-۷۵	۲/۷۰	۸/۰۰	۴/۰۰	۱/۶۵	۳۶/۵۴	۱۴/۶۹	۷۰/۰۰	۲۴/۰۰	۶/۰۰	S
	۱۵۰-۱۰۰	۲/۶۰	۸/۰۰	۴/۰۰	۱/۶۸	۳۵/۳۸	۱۹/۲۳	۷۴/۰۰	۲۰/۰۰	۶/۰۰	LS
سری سلمان	۲۵-۰	۵/۷۴	۲۶/۰۰	۱۲/۰۰	۱/۵۰	۴۲/۳۱	۷/۶۰	۳۰/۰۰	۳۴/۰۰	۳۸/۰۰	CL
	۵۰-۲۵	۱۰/۴۰	۳۰/۰۰	۸/۰۰	۱/۵۰	۴۲/۳۱	۱۴/۹۵	۲۰/۰۰	۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	C
	۷۵-۵۰	۱۵/۴۰	۲۵/۰۰	۱۲/۰۰	۱/۵۵	۴۰/۳۸	۱۸/۶۸	۲۲/۰۰	۴۰/۰۰	۴۴/۰۰	CL
	۱۰۰-۷۵	۱۵/۵۰	۲۵/۰۰	۱۳/۰۰	۱/۵۵	۴۰/۳۸	۲۲/۳۴	۱۸/۰۰	۴۸/۰۰	۳۴/۰۰	SiCL
	۱۵۰-۱۰۰	۱۵/۲۰	۲۷/۰۰	۱۳/۰۰	۱/۵۵	۴۰/۳۸	۳۱/۴۹	۱۰/۰۰	۵۲/۰۰	۲۸/۰۰	SiCL

جدول (۲): برخی ویژگی‌های شیمیایی سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه پیش از آبیاری

ESP	SAR (Meq/lit) ^{0.5}	Ex.Na Meq/100gr	C.E.C Meq/100gr	گچ (%)	آهک (%)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	عمق نمونه برداری (cm)	سری خاک
۱۴/۳۶	۱۲/۲۲	۱/۳۹	۹/۳۰	۰/۴۶	۴۶/۳۰	۷/۴۰	۱۲/۵۰	۲۵-۰	سری سابله
۱۷/۴۲	۱۴/۱۶	۲/۴۴	۱۰/۷۰	۰/۸۵	۴۴/۸۰	۷/۶۰	۱۶/۱۰	۵۰-۲۵	
۲۱/۵۰	۱۹/۴۲	۲/۹۷	۱۱/۱۰	۱/۵۹	۴۶/۵۷	۷/۸۰	۲۵/۹۰	۷۵-۵۰	
۲۲/۰۷	۲۰/۰۵	۴/۸۹	۱۱/۲۰	۲/۵۵	۴۴/۷۵	۷/۳۰	۲۷/۹۰	۱۰۰-۷۵	
۲۴/۷۹	۲۳/۲۰	۱۲/۰۲	۲/۸۰	۲/۸۰	۴۴/۵۰	۷/۶۰	۳۰/۹۰	۱۵۰-۱۰۰	
۲۰/۰۳	۱۷/۸۱	۴/۷۴	۹/۰۲	۱/۶۵	۴۵/۳۸	۷/۵۴	۲۲/۶۶	میانگین	
۱۴/۱۲	۱۲/۰۰	۱/۷۴	۷/۰۰	۰/۲۶	۴۹/۲۰	۸/۰۰	۴۶/۵۰	۲۵-۰	
۲۰/۸۴	۱۸/۷۰	۱/۹۶	۷/۲۰	۳/۸۹	۴۷/۸۷	۷/۶۰	۲۶/۵۰	۵۰-۲۵	
۱۹/۱۴	۱۶/۹۰	۱/۷۱	۶/۱۰	۲/۵۹	۴۹/۳۳	۷/۶۰	۳۸/۳۰	۷۵-۵۰	
۱۸/۱۶	۱۵/۹۰	۱/۱۰	۶/۲۰	۱/۶۳	۴۸/۷۰	۷/۳۰	۲۶/۴۰	۱۰۰-۷۵	
۱۵/۸۲	۱۳/۶۰	۱/۲۰	۴/۸۰	۱/۲۵	۴۸/۹۵	۷/۵۰	۳۴/۴۲	۱۵۰-۱۰۰	سری کرخه
۱۷/۶۲	۱۵/۴۲	۱/۵۴	۶/۲۶	۱/۹۲	۴۸/۸۱	۷/۶۰	۳۴/۴۲	میانگین	
۳۲/۱۶	۳۳/۰۰	۴/۴۰	۱۱/۰۰	۷/۲۶	۴۵/۳۰	۷/۴۰	۴۲/۹۰	۲۵-۰	
۲۴/۲۷	۳۶/۲۰	۴/۸۷	۱۳/۵۰	۵/۳۰	۴۴/۸۰	۷/۳۰	۳۴/۳۰	۵۰-۲۵	
۴۱/۴۲	۴۸/۸۰	۵/۱۵	۱۳/۵۰	۱/۵۰	۴۵/۵۷	۷/۴۰	۳۹/۳۰	۷۵-۵۰	سری سلمان
۴۰/۴۵	۴۶/۹۰	۴/۵۰	۱۱/۵۰	۰/۹۰	۴۵/۳۷	۷/۵۰	۳۶/۶۰	۱۰۰-۷۵	
۲۹/۱۱	۲۸/۷۰	۳/۸۰	۱۲/۴۰	۱/۴۰	۴۷/۴۰	۷/۵۰	۲۶/۳۰	۱۵۰-۱۰۰	
۳۳/۴۸	۳۸/۷۲	۴/۵۴	۱۲/۳۸	۳/۲۷	۴۵/۶۹	۷/۴۲	۳۵/۸۸	میانگین	

تئوری مدل‌ها

مدل سری مخازن (SRM) (وان در مولن، ۱۹۷۹)

در این مدل با تقسیم ناحیه ریشه به چهار لایه با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر، هر قسمت به عنوان یک مخزن در نظر گرفته می‌شود. در مخزن اول، محلول خاک با بخشی از آب آبیاری که وارد مخزن شده است اختلاط پیدا کرده و فرآیند شستشوی املاح صورت می‌پذیرد. زه‌آب خروجی از مخزن اول، آب آبیاری ورودی به مخزن دوم محسوب می‌گردد. بنابراین هر مخزن آب آبیاری خود را از مخزن بالایی دریافت می‌کند. مقدار آب در هر مخزن، مقدار رطوبت را در آن لایه بیان می‌کند و ثابت در نظر گرفته شده است. در این مدل فرض شده که انتقال املاح در مقدار رطوبت نزدیک به ظرفیت مزرعه صورت می‌گیرد. توازن نمک در مخزن اول با استفاده از رابطه ۱ بیان می‌شود.

$$Vc = (C_i - C_r)Qd_t \quad (1)$$

که در آن، V مقدار جریان املاح، t زمان آبیاری، C_i و C_r به ترتیب غلظت نمک در آب آبیاری و آب انتقال یافته به ناحیه رشد ریشه است. Q ، سرعت جریان در سیستم است که با در نظر گرفتن f به عنوان راندمان آبیاری معادله توازن نمک به شکل زیر ارائه می‌شود.

$$C_r = fC + (1 - f)C_i \quad (2)$$

با ترکیب دو رابطه ۱ و ۲، رابطه ۳ منتج می‌شود.

$$\frac{dC}{C - C_i} = -f \frac{Q}{V} dt \quad (3)$$

در روشی یکسان می‌توان مقدار خروجی را از لایه دوم C_{II} ، سوم C_{III} ، چهارم C_{IV} ، به دست آورد. معادله عمومی برای غلظت در مخزن n ام از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$C_N = C_i + e^{-\frac{fQ}{V}t} [(C_0 - C_i)] \sum_{n=0}^{N-1} \left[1 + \frac{f^n t^n}{n! T^n} \right] \quad (4)$$

که در آن، q میزان یون‌های جذب شده به وسیله ذرات خاک و در حالت تعادل با محلولی به غلظت C است؛ D_s عمق خاک (از سطح خاک) و K نصف طول مؤثری که فرایند اختلاط در آن انجام می‌شود. برای فرایند شوری‌زدایی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک همگن به صورت زیر است.

$$EC_f - EC_w = \frac{(EC_i - EC_w)}{2} \left[\operatorname{erfc} \frac{(fp-1)\sqrt{N}}{\sqrt{2fp}} - e^{2N} \operatorname{erfc} \frac{(fp+1)\sqrt{N}}{\sqrt{2fp}} \right] \quad (10)$$

$$p = \frac{D_w}{D_{sx} DFC} \quad (11)$$

$$N = \frac{Ds}{2k} \quad (12)$$

که در آن؛ D_w عمق خالص آب استفاده شده (آبشویی)، θ_{fc} میزان رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت مزرعه، erfc متمم تابع خطا، EC_f شوری نهایی، EC_w شوری آب آبیاری و EC_i شوری اولیه است. سایر عوامل، قبلاً تعریف شده است.

مدل حل عددی (NM)

مدل حل عددی مدل ساده شده‌ای از رابطه بیلان نمک‌ها است.

$$EC_f = EC_w + (EC_i - EC_w) e^{-ft/T} * \sum \frac{f^n t^n}{n! T^n} \quad (13)$$

در این روش، روابط مورد نظر از بسط روابط عددی تعیین مقدار غلظت املاح لایه‌های مختلف خاک به دست آمده است.

$$(14) \quad a.EC_w + b.EC_i = (a+b)EC_f$$

در این مدل نیز همانند مدل سری مخازن، خاک از مخازن (لایه‌های) مختلفی تشکیل شده و عمل اختلاط آب آبشویی و املاح، درون هر مخزن به‌طور کامل صورت می‌گیرد. لیکن در این مدل برخلاف مدل سری مخازن، ضریب راندمان آبشویی (f) تمامی لایه‌ها یکسان نبوده و با هم تفاوت دارند. در این مدل فرض گردید که زه‌آب خروجی از هر مخزن پس از اختلاط مجدد با آب آبشویی با غلظت C_i وارد مخزن زیرین می‌شود. با

با توجه به اینکه در مدل سری مخازن فرض شد که هر مخزن آب ورودی از مخزن فوقانی را دریافت می‌کند و با در نظر گرفتن معادله می‌توان نوشت:

$$C^{(n)} = C^{(n-1)} + (C_n - C^{(n-1)}) e^{-ft/T} \quad (5)$$

که در آن: C^n غلظت زه‌آب خروجی از مخزن شماره n و C_n غلظت اولیه مخزن شماره n می‌باشد. بنابراین به دست می‌آید:

$$C^{(n)} = (1 - e^{-ft/T}) C^{(n-1)} + C_n e^{-ft/T} \quad (6)$$

$$\frac{C^{(n)}}{(1 - e^{-ft/T})^n} = C_i + \left(1 - (1 - e^{-ft/T})\right) \left(\frac{C_n}{(1 - e^{-ft/T})^n} + \frac{C_{n-1}}{(1 - e^{-ft/T})^{n-1}} + \frac{C_{n-2}}{(1 - e^{-ft/T})^{n-2}} + \dots + \frac{C_1}{(1 - e^{-ft/T})^1}\right) \quad (7)$$

از طرفی جمله ریاضی $(1 - e^{-ft/T})^{n-1} + \dots + (1 - e^{-ft/T}) + 1$ یک تصاعد هندسی می‌باشد که جمله اول آن $a=1$ و قدر نسبت آن $q=1 - e^{-ft/T}$ و تعداد جملات این تصاعد برابر n می‌باشد. بنابراین مجموع جملات آن طبق رابطه می‌باشد $S = \frac{1 - (1 - e^{-ft/T})^n}{1 - (1 - e^{-ft/T})}$ برابر $e^{-ft/T}$ است. بنابراین با استفاده از رابطه ۸ مقدار شوری هر عمق پس از کاربرد ۲۵ سانتی‌متر آب محاسبه شد.

$$C^{(n)} = C_i + e^{-ft/T} \left[(C_1 - C_i) \frac{f^{n-1} t^{n-1}}{T^{n-1}} + (C_2 - C_i) \frac{f^{n-2} t^{n-2}}{T^{n-2}} + (C_3 - C_i) \frac{f^{n-3} t^{n-3}}{T^{n-3}} + \dots + (C_{n-1} - C_i) \frac{f t}{T} + C_n - C_i \right] \quad (8)$$

مدل نظری ستون پیوسته خاک (TPTM)

در این مدل، نیمرخ خاک به صورت ستون پیوسته-ای در نظر گرفته می‌شود که اختلاط آب آبشویی (محلول جایگزین شونده) با محلول خاک در هر عمقی از آن صورت می‌گیرد. بنابراین دامنه اختلاف مؤثر، محدود است. (Glueckauf (1949) نظریه‌ای را ارائه داد که با استفاده از آن می‌توان رفتار چنین ستونی را به صورت رابطه ریاضی نشان داد. تطبیق و کاربرد این نظریه برای فرایند آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک، منجر به رابطه زیر شده است.

$$\left[\frac{\partial q}{\partial v} \right]_{D_s} + \left[\frac{\partial C}{\partial D_s} \right]_v - k \left[\frac{\partial^2 C}{\partial D_s^2} \right]_{D_s} = 0 \quad (9)$$

شکاف‌ها و ترک‌ها و سوراخ‌ها عبور می‌کند بدون اینکه با محلول خاک اختلاط حاصل کند.

خاک تا حد ظرفیت مزرعه‌ای می‌تواند آب را در خود نگه دارد. تبخیر از سطح خاک صفر است. رطوبت خاک پس از آب اول در حد ظرفیت زراعی است. در نهایت پس از آبیاری شوری آب خروجی با شوری نهایی خاک برابر است. بنابراین از معادله زیر برای محاسبه شوری نهایی استفاده شد.

$$C_r = (f \cdot c_t + (1 - f) \cdot C_i) \quad (20)$$

مفهوم ضریب بازده آبیاری در مدل مخزن با مجرای فرعی به شرح زیر است.

$$C_r = f \cdot c_t + C_i - f c_i \rightarrow f = \frac{C_r - C_i}{c_t - C_i} \quad (21)$$

چون اندازه‌گیری C_r بسیار مشکل است، در نتیجه از روابط زیر که از داده‌های حاصل از آزمون می‌باشند، استفاده گردید.

$$d_p = d_w - k \quad (22)$$

$$r = \frac{d_w}{d_p} \quad (23)$$

$$k = (F_c - \theta) \cdot p_b \cdot D \quad (24)$$

$$f = r \cdot \frac{EC_i}{EC_{eq}} \quad (25)$$

K کسر رطوبتی تا رسیدن به ظرفیت زراعی، D عمق خاک، F_c رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، θ رطوبت اولیه خاک، p_b جرم ویژه ظاهری، d_p عمق خالص آب آبیاری (عمق آب نفوذ یافته به اعماق خاک)، C_r غلظت آب خروجی، C_i غلظت آب ورودی، EC_i شوری آب آبیاری، EC_t شوری عصاره اشباع خاک بعد از آبیاری، EC_{eq} کمترین مقدار EC تعادلی خاک است. با توجه به اصل بقای جرم، معادله بیلان خاک به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$C_i \cdot Q \cdot dt - C_r = (f \cdot c_t + (1 - f) C_i) \cdot Q \cdot dt = V \cdot dc \quad (26)$$

و از حل این رابطه در شرایط انتگرال گیری $t=0$ و $t=T$ ، $C=C_i$ ، $C=C_0$ رابطه به شرح زیر به دست می‌آید.

$$C_t = C_i + (C_0 - C_i) e^{\left[\frac{-f \cdot V t}{Q} \right]} \quad (27)$$

استفاده از روابط عددی حاصله از این مدل می‌توان ضریب راندمان آبیاری خاک را به تفکیک لایه‌های اعماق مختلف آن تعیین نموده و منحنی آبیاری تئوری خاک را به دست آورد.

$$f_1 \cdot a \cdot C_i + b C_1 = (f_1 \cdot a + b) C_1 \quad f_1 \cdot a \cdot C_i + b \cdot C_1 = (f_1 \cdot a + b) C_1 \quad (15)$$

$$C_1 = \frac{f_1 \cdot a \cdot C_i + b C_1}{f_1 \cdot a + b} \quad (16)$$

$$C_{II} = \frac{f_2(a-D_1)C_1+d.C_2}{f_2(a-D_1)+d} \quad (17)$$

$$C_{III} = \frac{f_3(a-D_1-D_2)C_{II}+d.C_3}{f_3(a-D_1-D_2)+e} \quad (18)$$

$$C_{IV} = \frac{f_4(a-\sum_{i=1}^3 D_i)C_{III}+g.C_4}{f_4(a-\sum_{i=1}^3 D_i)+g} \quad (19)$$

در روابط بالا، f_1, f_2, \dots, f_n به ترتیب ضرایب راندمان آبیاری لایه‌های اول تا n ام و a مقدار آب آبیاری و C_i غلظت آب آبیاری و C_1, C_2, \dots, C_n شوری اولیه لایه‌های اول تا n ام، e, d, b, g و h رطوبت اولیه لایه‌های اول تا n ام، D_1, D_2, \dots, D_n کمبود رطوبتی تا حد ظرفیت مزرعه لایه‌های اول تا n ام، C_1, C_{II}, \dots, C_n غلظت زه‌آب خروجی از مخازن اول تا n ام و C_1, C_{II}, \dots, C_n به ترتیب غلظت زه‌آب ورودی به مخازن دوم تا $n+1$ ام می‌باشد.

مدل مخزن منفرد با مجرای فرعی (SRBM)

ویرایش این مدل به وسیله وان در مولن (۱۹۷۹) ارائه شده است. در این مدل، خاک به عنوان مخزنی با حجم (V) فرض می‌شود که دارای میزان رطوبت با محلول خاکی (فاز مایع) با غلظت اولیه است. طی فرایند آبیاری، آب آبیاری با غلظت C_i به تدریج جایگزین محلول خاک می‌شود. با توجه به اینکه این مدل فقط یک عمق خاک را در هر اجرا شبیه سازی می‌کند، به منظور برآورد میزان تغییرات شوری هر عمق از خاک، مخزن مورد نظر از سطح خاک تا عمق دلخواه، در نظر گرفته می‌شود.

در این مدل فرض بر این است که اختلاط کامل صورت نمی‌گیرد، بلکه اختلاط تا نسبتی انجام می‌شود که این نسبت با f تعریف می‌شود. طبق این مدل، در خاک بخشی از محلول ورودی از منافذ درشت و

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (33)$$

$$RMSEn = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} / \bar{O} \quad (34)$$

که در آنها P_i و O_i مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده، \bar{O} مقدار میانگین اندازه‌گیری شده و n تعداد نمونه‌ها می‌باشند.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های شیمیایی لایه‌های نیم‌رخ خاک مورد مطالعه پس از آبخویی، در جدول (۳) ارائه شده است

V حجم مخزن، Q دبی آب ورودی و خروجی، dc تغییرات غلظت نمک، t زمان و در نهایت معادله زیر برای مدل مذکور حاصل می‌شود.

$$C_t = C_i + (C_0 - C_i) e^{-\frac{dwt}{h\tau}} \quad (28)$$

پس از محاسبه شوری نهایی به‌ازای عمق‌های مختلف آبخویی، به منظور ارزیابی دقت، اعتبار و کارایی مدل‌ها از آماره‌های خطای حداکثر (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطای نرمال (RMSEn)، ضریب تعیین (CD)، کارایی مدل (EF) و ضریب جرم باقیمانده (CRM) استفاده شد. مقدار بالای خطای حداکثر نشان‌دهنده ناکارآمدی مدل است. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا نشان‌دهنده کم برآوردی یا بیش‌برآوردی مدل است. مقادیر CD نیز بیانگر نسبت پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده است. حد پائینی ME، RMSE و CD صفر است. مقایسه‌ی بین مقادیر برآورد شده و متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده توسط شاخص EF انجام گرفت. هرچه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، مدل پیش‌بینی بهتری داشته است. شاخص CRM، میل مدل به بیش برآوردی یا کم برآوردی را نشان می‌دهد. مقدار CRM منفی یعنی مدل مقادیر را بیشتر و CRM مثبت یعنی مدل مقادیر را کمتر از مقادیر مشاهده‌ای پیش‌بینی کرده است. اگر مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مدل برابر باشند، $CRM=0$ و $EF=1$ ، $CD=1$ ، $RMSE=0$ ، $ME=0$ است. شرح ریاضی آماره‌های ذکر شده به صورت زیر است (Homaei et al., 2002).

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (29)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (30)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (31)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (32)$$

جدول (۳): ویژگی‌های شیمیایی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک پس از کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبخویی در سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه

سری خاک	عمق نمونه برداری خاک (cm)	هدایت الکتریکی (dS/m)	واکنش خاک (pH)	آهک (%)	گچ (%)	C.E.C Meq/100gr	Ex. Na Meq/100gr	نسبت جذب سدیم (SAR) (Meq/lit) ^{0.5}	درصد سدیم* (ESP)
	۲۵-۰	۳/۴۲	۷/۸۲	-	۳/۳۰	۹/۳۰	۰/۷۰	۵/۹۶	۷/۶۰
	۵۰-۲۵	۵/۹۰	۷/۶۵	-	۳/۲۹	۱۰/۷۰	۱/۳۸	۱۳/۹۵	۱۶/۳۱
	۷۵-۵۰	۲۵/۴۵	۷/۷۲	-	۱/۳۳	۱۱/۱۰	۲/۲۷	۲۸/۰۷	۲۱/۴۲
	۱۰۰-۷۵	۲۹/۰۵	۷/۵۰	-	۱/۱۶	۱۱/۳۰	۲/۴۵	۲۹/۳۰	۲۰/۳۴
سری سابله	۱۵۰-۱۰۰	۳۰/۷۰	۷/۳۲	-	۱/۳۶	۲/۹۰	۱/۹۱	۲۲/۱۴	۱۲/۰۳
	میانگین	۱۸/۹۰	۷/۶۰		۲/۰۹	۹/۰۶	۱/۷۴	۱۹/۸۸	۱۵/۵۴
	تفاوت پیش و پس از آبخویی	-۳/۷۶	۰/۰۶	**n.d	۰/۴۴	۰/۰۴	-۳/۰	۲/۰۷	-۴/۴۹
	۲۵-۰	۲/۹۲	۷/۸۵	-	۳/۳۰	۷/۰۰	۰/۶۸	۵/۰۰	۵/۶۴
	۵۰-۲۵	۵/۴۸	۷/۶۵	-	۳/۲۹	۷/۲۰	۱/۷۵	۱۰/۲۷	۱۱/۹۷
	۷۵-۵۰	۱۲/۸۱	۷/۵۷	-	۱/۳۳	۶/۱۰	۱/۵۱	۱۲/۲۲	۱۴/۱۶
	۱۰۰-۷۵	۲۲/۷۲	۷/۶۲	-	۱/۱۶	۶/۲۰	۱/۰۵	۱۲/۳۷	۱۴/۱۳
سری کرخه	۱۵۰-۱۰۰	۱۴/۵۲	۷/۴۲	-	۱/۳۶	۴/۹۰	۰/۹۵	۱۲/۹۲	۱۵/۰۰
	میانگین	۱۱/۶۹	۷/۶۲		۲/۰۹	۶/۲۸	۱/۱۹	۱۰/۵۶	۱۲/۱۸
	تفاوت پیش و پس از آبخویی	-۲۲/۸۳	۰/۰۲	**n.d	۰/۱۶	۰/۰۲	-۰/۳۵	-۴/۸۶	-۵/۴۴
	۲۵-۰	۳/۶	۷/۸۷	-	۶/۱۴	۱۱/۰۰	۱/۱۷	۳/۹۶	۴/۲۲
	۵۰-۲۵	۱۱/۰۲	۷/۶۷	-	۴/۱۴	۱۳/۵۰	۱/۹۰	۱۴/۹۱	۱۵/۹۳
	۷۵-۵۰	۳۰/۳	۷/۷۲	-	۱/۶۶	۱۳/۶۵	۳/۹۲	۲۸/۲۳	۳۵/۰۶
	۱۰۰-۷۵	۲۵/۵۵	۷/۴۰	-	۲/۰۸	۱۱/۵۰	۳/۶۸	۲۸/۳۰	۲۳/۸۴
سری سلما	۱۵۰-۱۰۰	۲۷/۵۲	۷/۴	-	۱/۳۲	۱۲/۴۰	۳/۹۰	۳۰/۵۳	۲۹/۳۳
	میانگین	۱۹/۶۰	۷/۶۱		۳/۰۷	۱۲/۴۱	۲/۹۱	۲۱/۱۹	۲۱/۶۸
ن	تفاوت پیش و پس از آبخویی	-۱۶/۲۸	۰/۱۹	**n.d	-۰/۲۰	۰/۰۳	-۱/۶۳	-۱۷/۵۳	-۱۱/۸۱

*ESP = Ex. Na⁺ × 100 / CEC **n.d = اندازه‌گیری نشده است + علامت افزایش - علامت کاهش

برای مقادیر مشاهده شده در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. شکل (۲) منحنی‌های نهایی شوری برآورد شده بر مبنای مدل‌های نظری آبخویی در سری خاک سابله را نشان می‌دهد.

همانطور که مشخص است با کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبخویی، شوری نهایی خاک کاهش یافته است. از آنجاکه عامل شوری ثانویه در این خاک‌ها، نمک کلرور سدیم است و این نمک حلالیت بسیار زیادی در آب

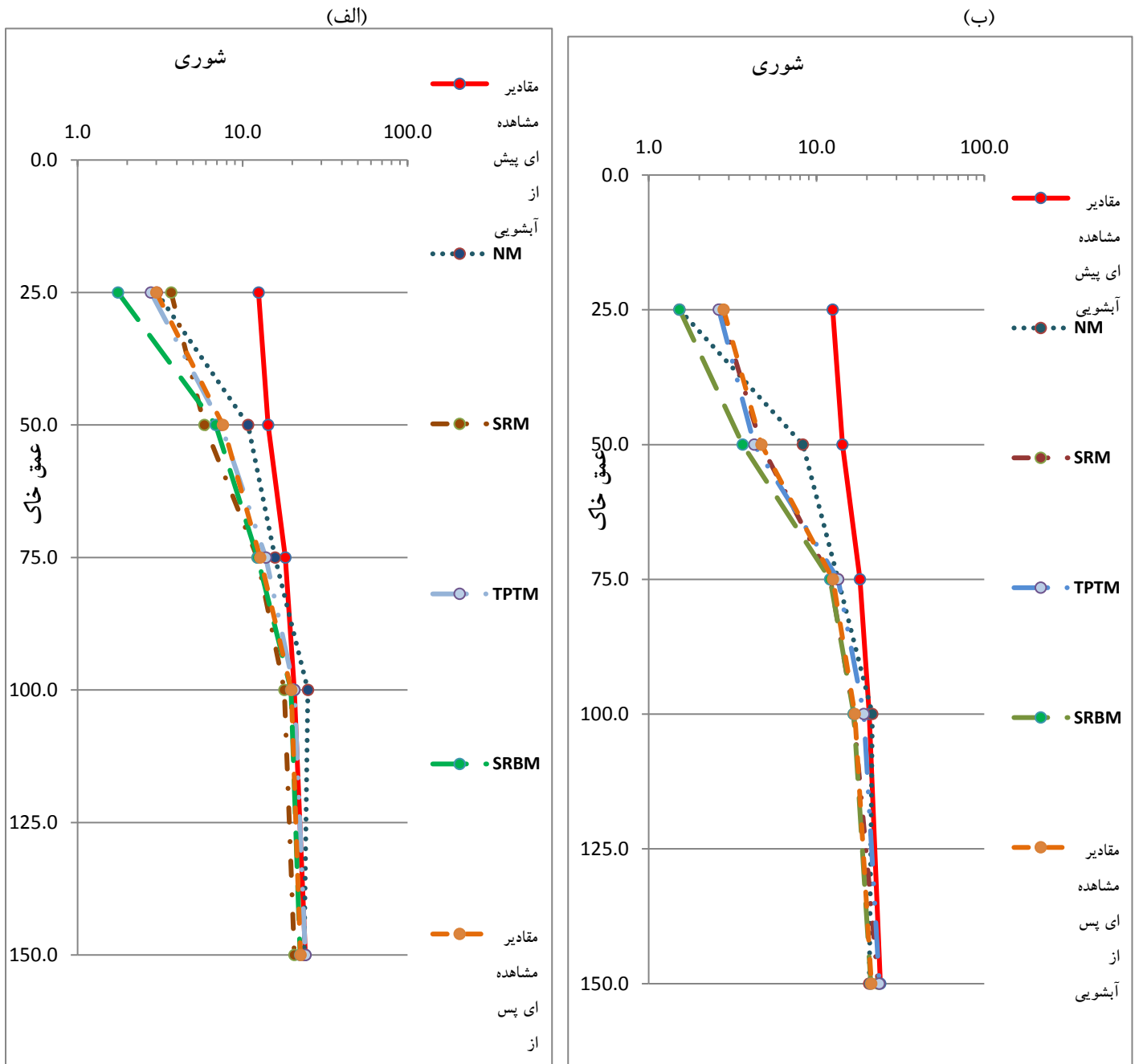
همانطور که مشخص است پس از کاربرد آب آبخویی، میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک کاهش یافته است. این کاهش برای لایه‌های سطحی به‌ویژه لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری خاک بیشتر قابل ملاحظه است و باعث معکوس شدن توزیع نمک‌ها در نیمرخ، نسبت به زمان پیش از آبخویی می‌شود. نتایج این توزیع عکس توزیع نمک‌ها پیش از آبخویی است. علت آن نیز شسته شدن نمک‌ها از سطح به عمق است.



مربوطه نسبتاً به یکدیگر نزدیک بوده و با هم مطابقت دارند. پس از کاربرد عمق آب آبخویی به میزان ۵۰ سانتی‌متر منحنی‌های تغییرات شوری با عمق خاک حاصله از مقادیر محاسباتی و مشاهداتی کاملاً دارای روند تغییرات یکسانی است. روند تغییرات برای کاربرد ۷۵ سانتی‌متر عمق آب آبخویی نیز تقریباً یکسان بوده و منحنی‌های حاصله از مقادیر مشاهداتی و محاسبه‌ای تقریباً نزدیک به هم بوده و مقادیر حاصله از مدل به مقادیر مشاهده شده نزدیک می‌باشند، لیکن برای اعماق پایین‌تر این مطابقت و نزدیکی کمتر می‌گردد. روند تغییرات و انطباق بین منحنی‌های تغییرات شوری با عمق خاک حاصل از مقادیر EC محاسبه شده از طریق مدل و مقادیر مشاهده شده (حاصله از آزمایش‌های مزرعه‌ای) کاملاً شبیه حالت کاربرد عمق آب آبخویی به میزان ۵۰ cm بوده و نتایج آن همچنین قابل ارائه برای این مقدار آب آبخویی نیز هست (شکل ۲، الف-ب-ج-د).

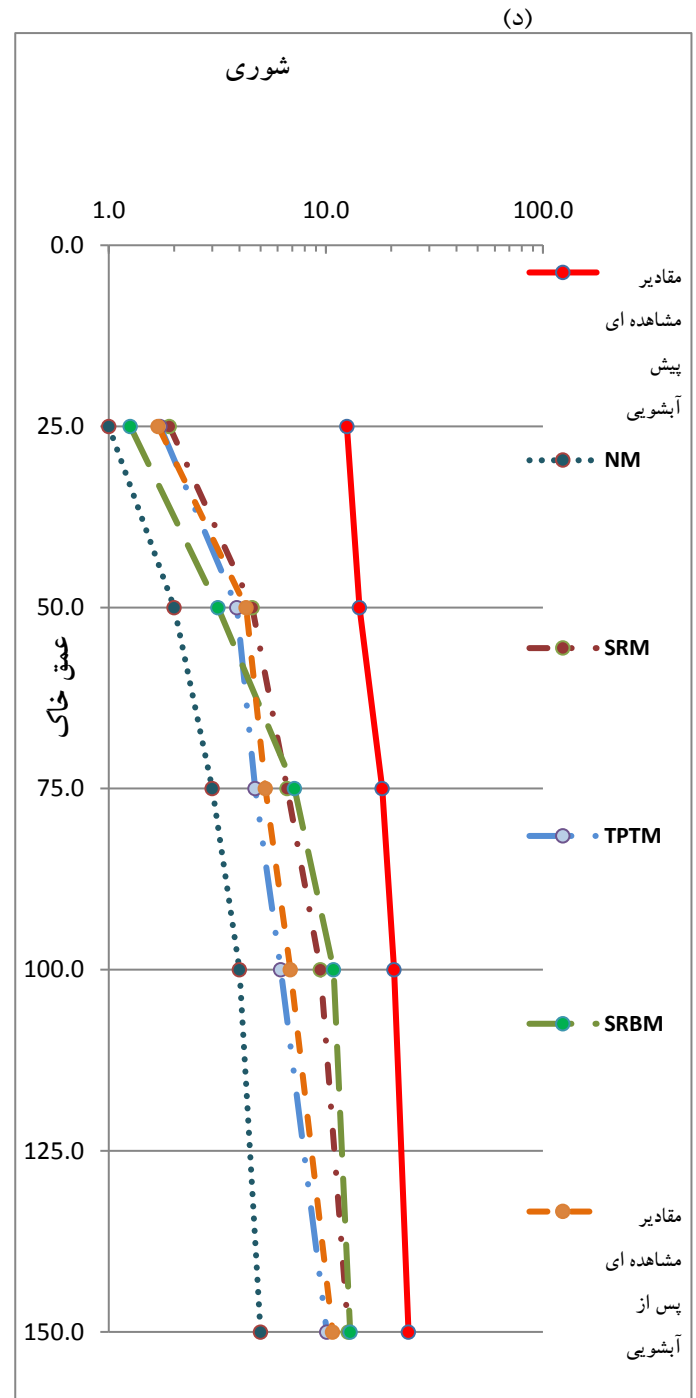
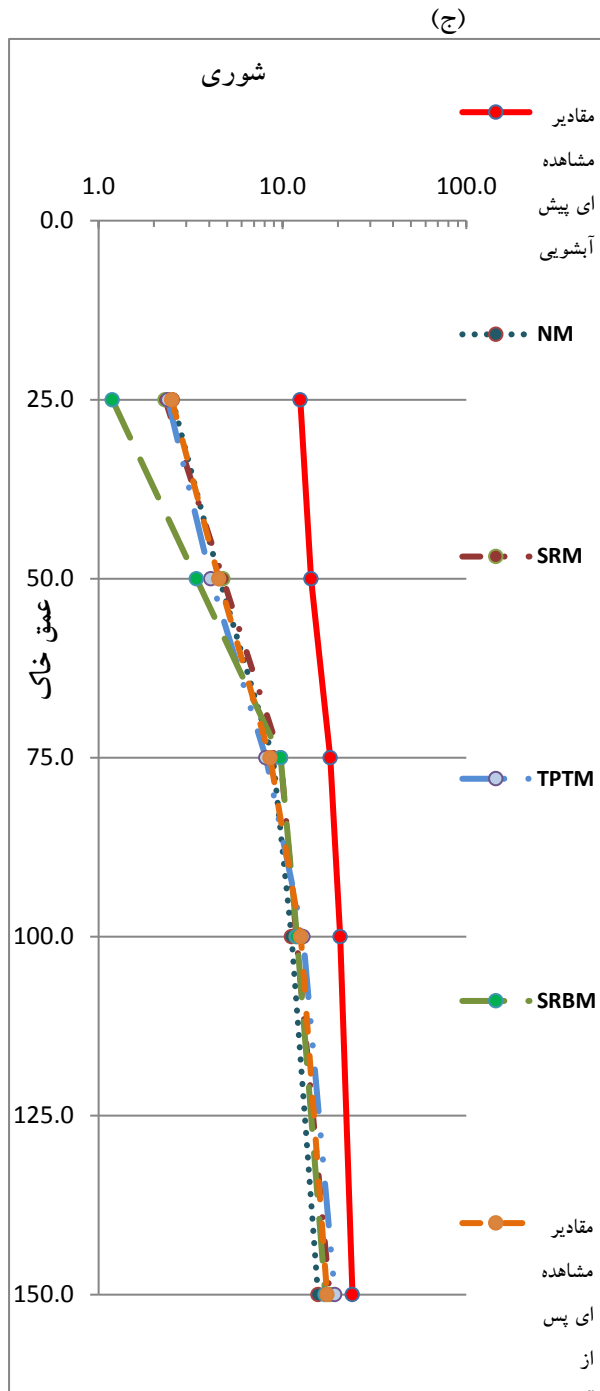
دارد، پس از آبخویی مقدار شوری کاهش داشته است. بطوریکه بیشترین کاهش شوری در اعماق نزدیک به سطح بوده و آبخویی نمک‌های محلول با افزایش عمق کاهش یافته است. با به کاربرد ۲۵ سانتی‌متر آب آبخویی، شوری خاک در عمق ۲۵ سانتی‌متر از ۱۲/۵ به ۳ دسی‌زیمنس بر متر و در عمق ۱۵۰ سانتی‌متر از ۲۴/۰۳ به ۲۲/۴ دسی‌زیمنس بر متر رسید. همین روند در داده‌های برآورد شده توسط مدل‌های نظری نیز به‌دست آمد.

کاربرد عمق آب آبخویی به میزان ۲۵ سانتی‌متر توانسته است شوری خاک را کاهش دهد و مقدار کاهش آن برای اعماق سطحی (به ضخامت ۴۰ cm) بیشتر از اعماق زیرین هست. روند تغییرات شوری با عمق، برای هر دو منحنی حاصل از مقادیر پیش و پس از آبخویی با مقدار ۲۵ cm آب آبخویی و برای مقادیر مشاهده شده از آزمایش‌های مزرعه‌ای (Actual) کاملاً مشابه می‌باشد. منحنی تغییرات شوری با عمق خاک حاصله از طریق محاسبات و منحنی مشاهداتی



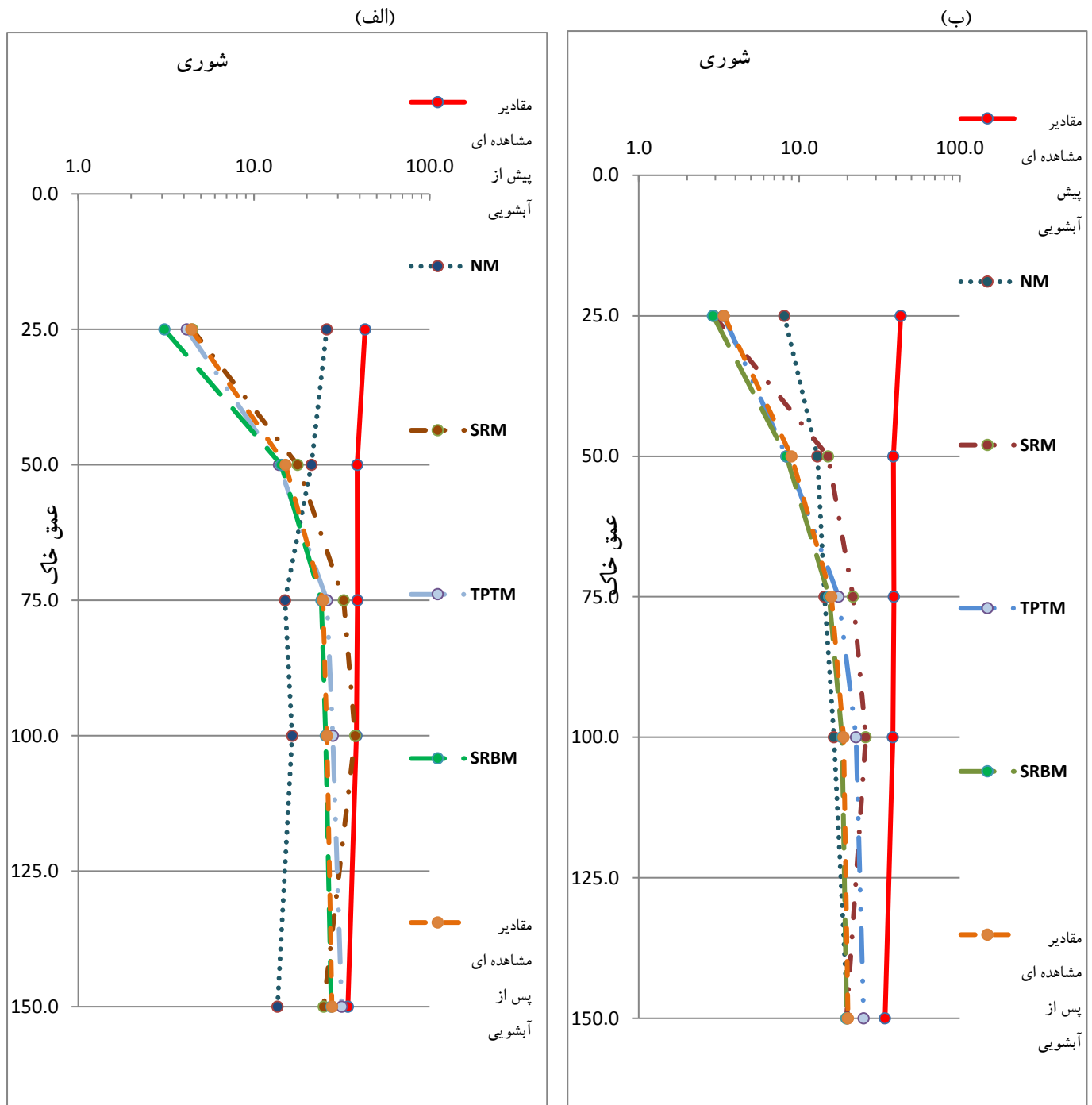
شکل (۲): منحنی های نهایی شوری برآورد شده به ازای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی متر عمق آبیاری (به ترتیب موارد الف تا د) در

سری سابله

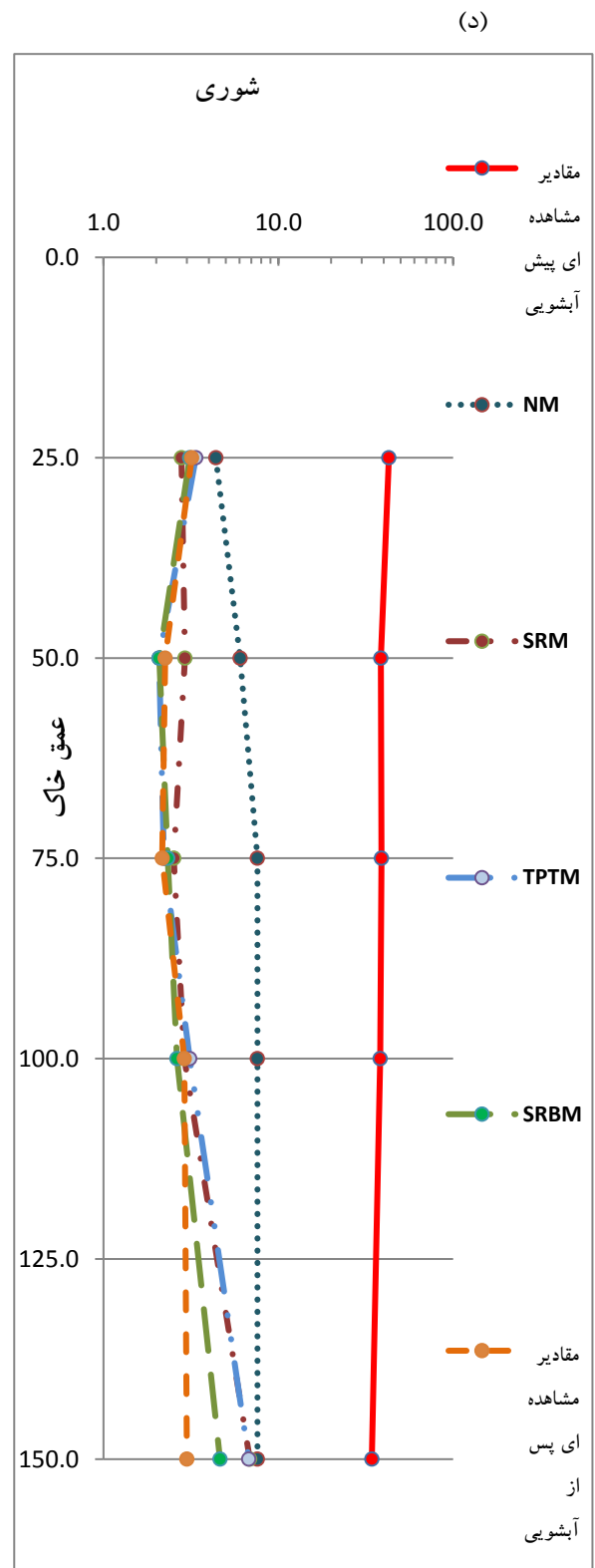
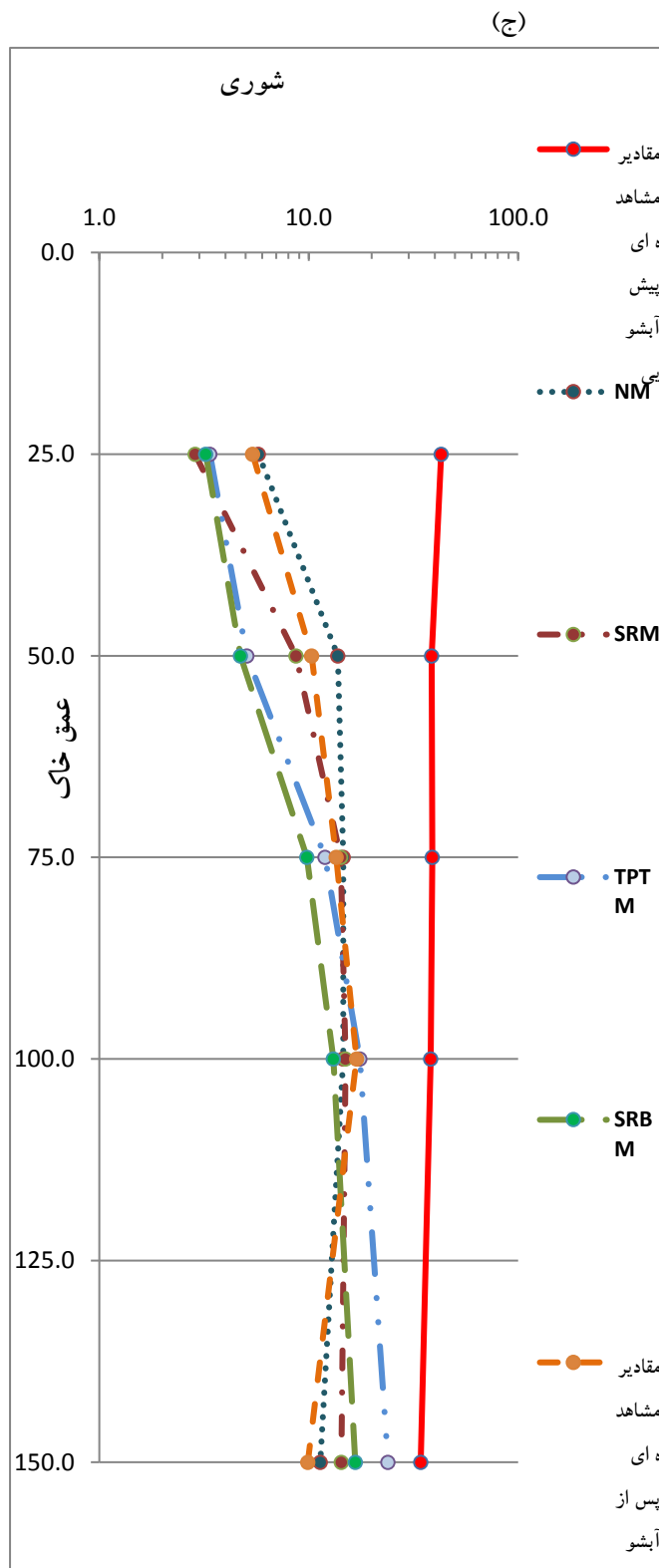


ادامه شکل (۲): منحنی های نهایی شوری برآورد شده به ازای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی متر عمق آیشویی (به ترتیب موارد الف تا

د) در سری سابله

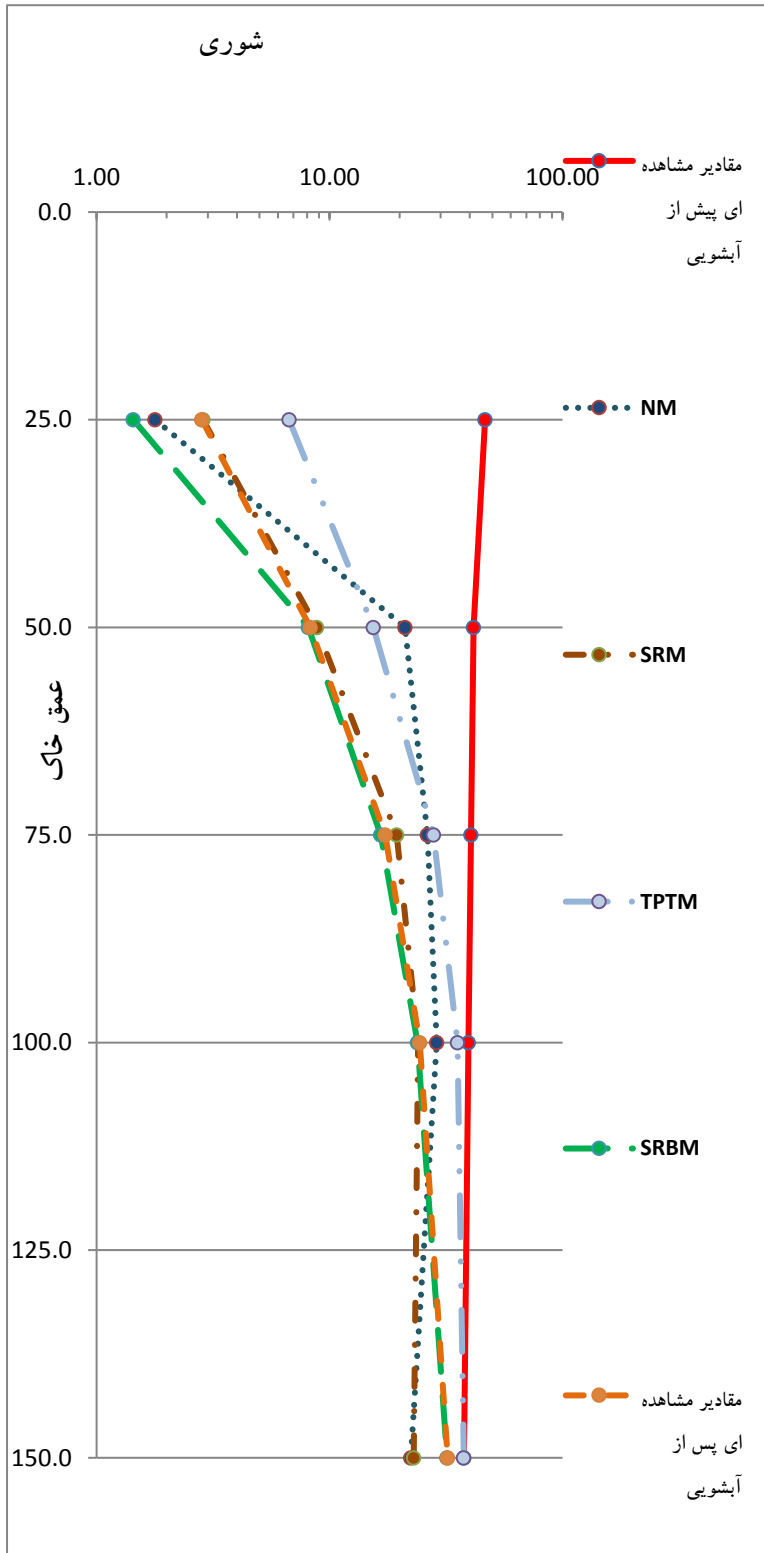


شکل (۳): منحنی های نهایی شوری برآورد شده به ازای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی متر عمق آبیاری (به ترتیب موارد الف تا د) در سری کرخه

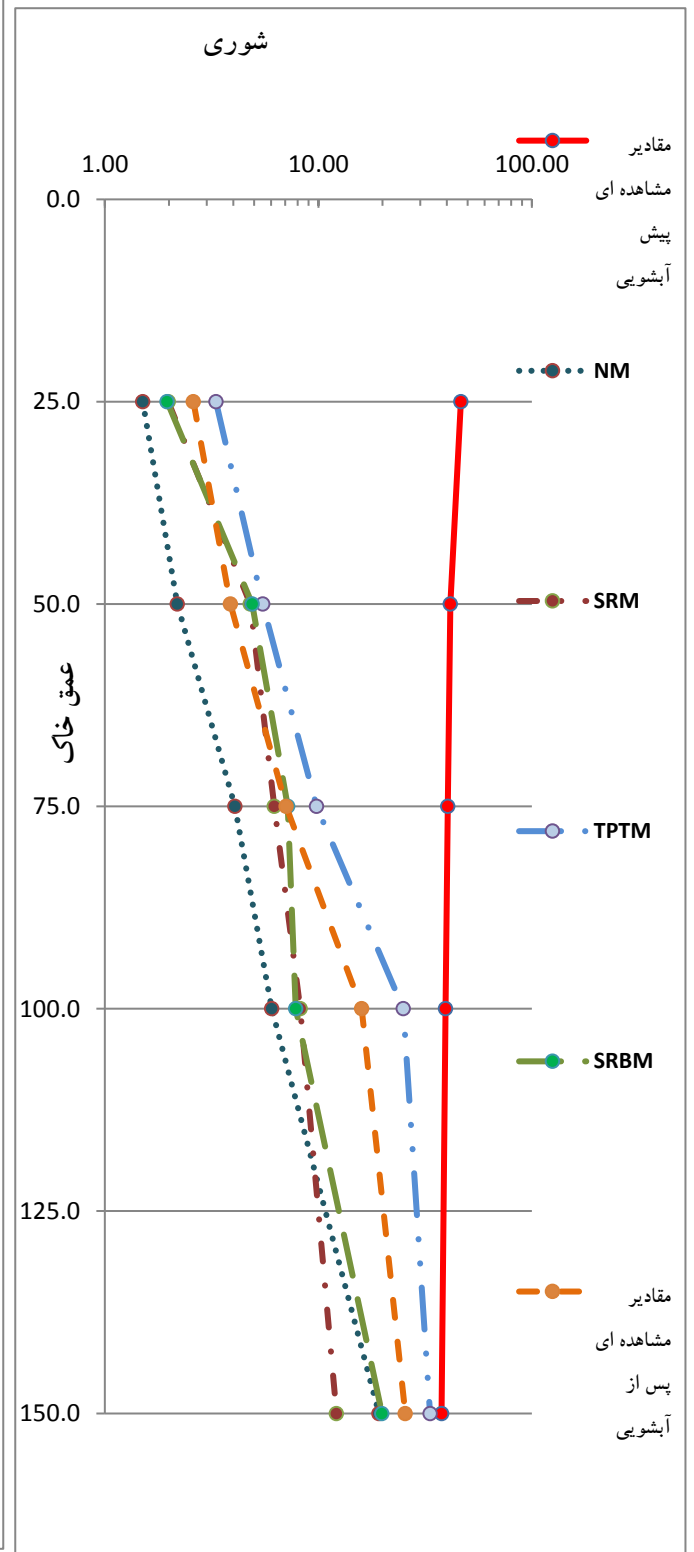


ادامه شکل (۳): منحنی های نهایی شوری برآورد شده به ازای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی متر عمق آبشویی (به ترتیب موارد الف تا د) در سری کرخه

(الف)



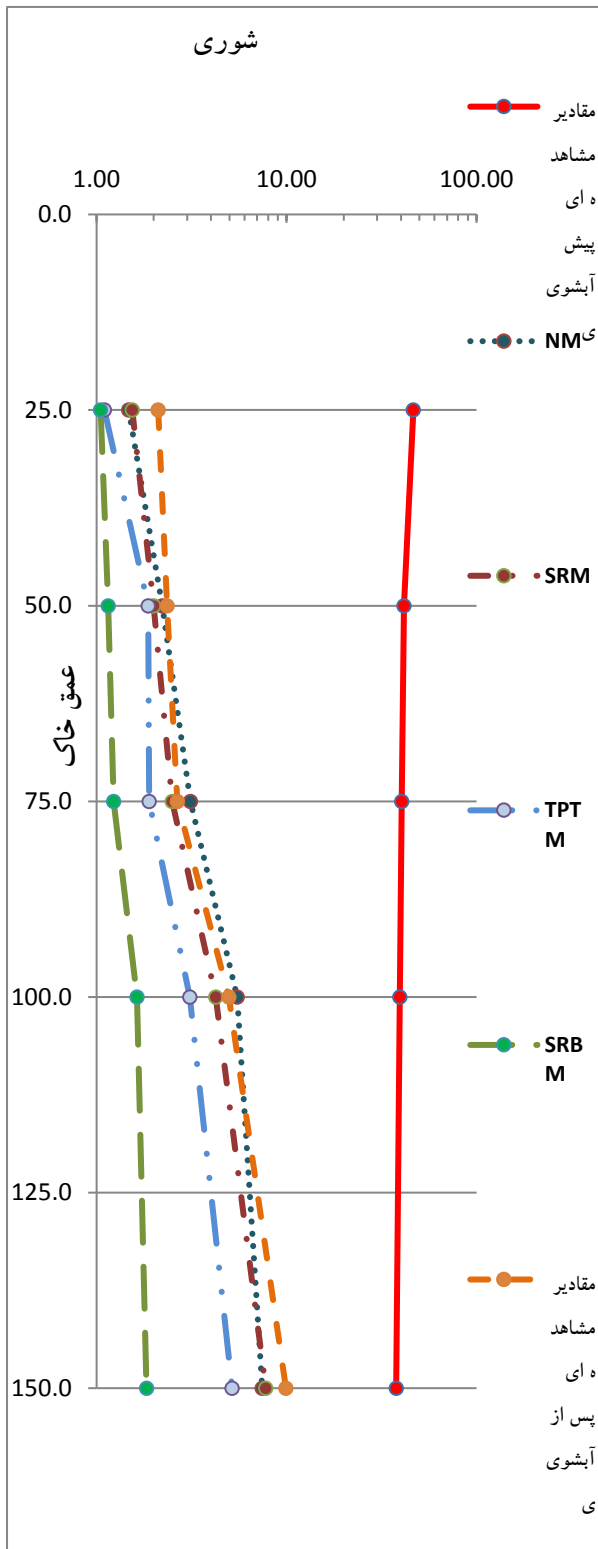
(ب)



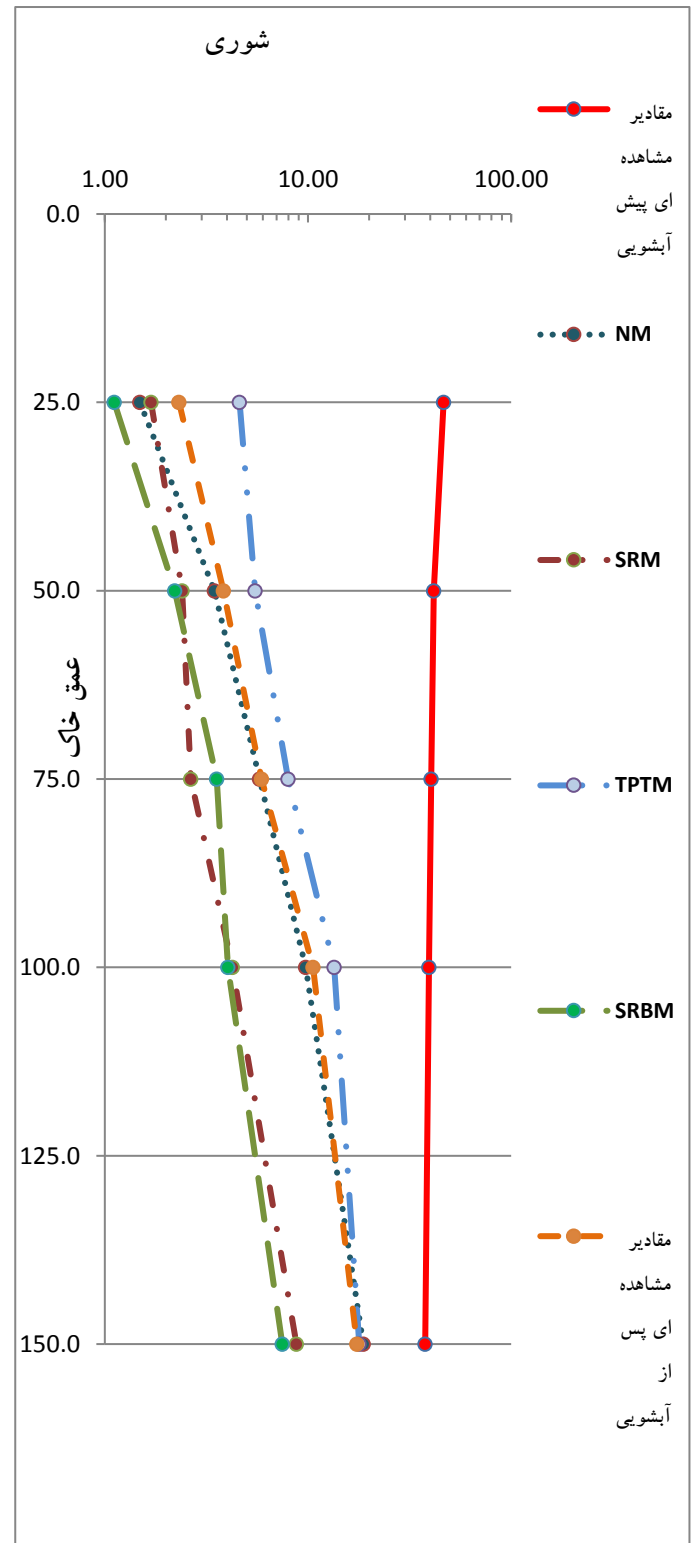
شکل (۴): منحنی های نهایی شوری برآورد شده به ازای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی متر عمق آبخوایی (به ترتیب موارد الف تا د) در

سری سلمان

(ج)



(د)



ادامه شکل (۴): منحنی های نهایی شوری برآورد شده به ازای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی متر عمق آبیاری (به ترتیب موارد الف تا

د) در سری سلمان

پایین بودن مقدار حداکثر خطا (۰/۶۹)، بهترین مدل برای پیش‌بینی مقدار شوری نهایی بود. همچنین با توجه به مقدار شاخص EF، مدل پیش‌بینی بهتری در برآورد شوری نهایی داشته است. مقدار CRM منفی در مدل ستون پیوسته، نشان‌دهنده بیش برآوردی مدل است.

با توجه به شکل (۲) مدل مخزن با مجرای فرعی دارای بیشترین اختلاف شوری نهایی برآورد شده با مقادیر واقعی است. در این مدل، پس از کاربرد ۲۵ سانتی‌متر آب آبخویی، در عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک، شوری حدود ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد و نسبت به مقدار واقعی، مقدار شوری نهایی را در عمق ۲۵ سانتی‌متر کمتر برآورد کرده است. Gluckauf (1949) مدل شوری‌زدایی خود را بر اساس ستون پیوسته و همگن در نظر گرفته و دانسیته و لزوجت آب آبخویی را در نیمرخ ثابت فرض کرده است. در مدل ستون پیوسته بر پایه فرضیات مدل، عامل اصلی جابجایی نمک‌های خاک پدیده پخشیدگی املاح در شرایط رطوبت کمتر از اشباع است. در شرایط یاد شده اختلاط آب آبخویی در محلول خاک به صورت یکنواخت انجام می‌شود. لیکن با توجه به ناهمگن بودن خاک و عدم اشباع همه لایه‌های خاک به علت وجود درز و ترک و معابر فرعی، آب عامل اصلی اختلاف شوری پیش‌بینی شده خاک پس از آبخویی با مقادیر شوری اندازه‌گیری شده توسط مدل ستون پیوسته است. نتایج نشان داد مدل حل عددی به ازای مصرف ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبخویی در عمق آبخویی ۱۰۰ سانتی‌متر دارای بیشترین اختلاف بین مقادیر مشاهده ای و محاسبه شده است و به ازای کاربرد ۷۵ سانتی‌متر آب، کمترین تغییرات صورت گرفته است. کاهش بازده آبخویی با افزایش آب کاربردی را می‌توان ناشی از کاهش آب ورودی به لایه‌های زیرین خاک با توجه به بافت خاک دانست. مدل سری مخازن نسبت به سایر مدل‌ها برآورد بهتری از شوری نهایی داشته است. بطوریکه پس از کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبخویی، مقدار پیش‌بینی شوری نهایی خاک تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک شد. نتایج به‌دست آمده با پژوهش Eloubaidy et al., (1993) مطابقت دارد. بر اساس نتایج ارزیابی اعتبار مدل‌های شوری‌زدایی خاک (جدول ۴)، در سری خاک سابل، مدل سری مخازن با داشتن ضریب تبیین بالا و

جدول (۴): آماره‌های محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار مدل‌های نظری

آماره‌ها						مدل نظری	سری‌های خاک مورد مطالعه
CRM	EF	CD	RMSEn	RMSE	ME		
-۰/۳	۰/۹۱	۰/۶۳۸	۷۹/۹	۷/۹۲	۵/۰۸	NM	سری‌های خاک
۰/۰۱	۰/۹۵	۰/۹۴۹	۴۸/۵	۴/۸۱	۰/۷۸	SRBM	سری خاک
-۰/۰۲	۱	۰/۹۵	۶/۵۵	۰/۶۵	۰/۶۹	SRM	سابله
-۰/۰۴	۰/۹۸	۰/۹۰۲	۵/۵۴	۰/۵۵	۱/۳۰	TPTM	
-۰/۱۳	۰/۸۶	۰/۹۳	۱۱/۶۸	۱/۲۶	۷/۴۷	NM	
۰/۰۳	۱	۱/۰۳	۱۱/۳۰	۱/۹۲	۰/۱۹	SRBM	سری خاک
-۰/۱۵	۰/۹۶	۰/۷۷	۱۱/۰۳	۱/۲۲	۴/۴۴	SRM	کرخه
-۰/۱۴	۰/۹۶	۰/۷۲	۱۱/۶۵	۱/۳۳	۴/۹۱	TPTM	
-۰/۰۳	۰/۹۴	۱/۰۹	۳۹/۴۷	۳/۹۹	۴/۲۱	NM	
۰/۲۵	۰/۹۲	۱/۸۹	۴۷/۰۹	۴/۷۶	۰/۲۴	SRBM	سری خاک
-۰/۲۶	۰/۹۸	۲/۱۱	۱۹/۵۹	۱/۹۸	۰/۱۷	SRM	سلمان
-۰/۳۰	۰/۹۲	۰/۶۵	۶۴/۲۱	۶/۴۹	۵/۲۸	TPTM	

بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده محاسبه کرده است (شکل ۳-الف). همچنین به ازای کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبخویی در اعماق پایین‌تر از ۵۰ سانتی‌متر، کمترین تغییرات در شوری صورت گرفته است (شکل ۳-ب). در این مدل فرض شده که ضریب راندمان آبخویی لایه‌ها یکسان نبوده و زه‌آب خروجی از هر مخزن پس از اختلاط مجدد با آب آبخویی با غلظت ثانویه وارد مخزن زیرین می‌شود. با توجه به بافت خاک سری کرخه، امکان اختلاط آب آبخویی با لایه زیرین وجود ندارد و همین عامل موجب می‌شود که مدل نتایج را به صورت بیش برآورد نشان دهد.

بررسی‌ها نشان داد مدل تئوری ستون پیوسته مقدار شوری نهایی را بیش از مقدار واقعی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است پس از کاربرد مقادیر مختلف آب آبخویی، مدل ستون پیوسته فقط در عمق ۲۵ سانتی‌متری مقادیر شوری نهایی را بسیار نزدیک به مقدار واقعی برآورد می‌کند. بنابراین به نظر می‌رسد که مدل ستون پیوسته در شرایطی که لایه‌های مختلف خاک برای مدت طولانی‌تر تحت شرایط غرقاب و اشباع باشند، نتایج بهتری ارائه می‌دهد. بنابراین اگر محاسبه شوری خاک در لایه فوقانی نیاز باشد کاربرد این مدل ارجح است. به دلیل درشت

شکل (۳)، برآورد شوری‌زدایی خاک توسط مدل‌های نظری آبخویی در سری کرخه را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که با به کار بردن ۲۵ سانتی‌متر آب آبخویی شوری خاک از ۴۲/۹ به ۴/۴ دسی‌زیمنس بر متر در عمق ۲۵ و در عمق ۱۵۰ سانتی‌متری از ۳۴/۳ به ۲۷/۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافته است (شکل ۳-الف). پس از اعمال ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبخویی مقدار شوری برآورد شده در مخزن با مجرای فرعی نسبت به مقدار اولیه روند کاهشی داشته است. هرچند ارقام به‌دست آمده از مدل مخزن با مجرای فرعی، مقدار شوری نهایی را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند، لیکن روند ارقام پیش‌بینی شده با ارقام مشاهده شده تناسب نزدیکی دارد.

همچنین نتایج نشان داد که مدل حل عددی برآورد مناسبی از مقدار شوری نهایی ندارد و همه مقادیر را زیاده‌تر از ارقام مشاهده شده پیش‌بینی می‌کند. دلیل این امر ممکن است به خاطر ضریب آبخویی باشد. به نظر می‌رسد که ضریب آبخویی به‌کار رفته در این مدل، پاسخ مناسبی نمی‌دهد. به طوریکه مقدار شوری برآورد شده توسط این مدل در عمق ۲۵ سانتی‌متر، ۲۵/۹۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده است که مقدار شوری را بسیار

کمتری داشت. مدل سری مخازن نسبت به مدل‌های تک مخزنی پاسخ مناسب‌تری می‌دهد. در مدل‌های تک مخزنی، چنانچه عمق شبیه‌سازی کمتر از ۵۰ سانتی‌متر باشد، جواب قابل قبول به دست می‌آید. افزایش در عمق شبیه‌سازی همراه با افزایش در خطای محاسباتی به علت متوسط‌گیری پارامترهای خاک برای تمام اعماق است. با توجه به ناهمگنی و غیریکنواخت بودن شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمون، شرایط حقیقی مزرعه با فرضیه‌های مدل ستون پیوسته اختلاف داشت و سبب شد که مقدار شوری پیش‌بینی شده توسط این مدل با مقادیر واقعی تفاوت داشته باشد. افزایش آب آبتوی در این مدل توانسته است که رطوبت خاک سطحی را به حد رطوبت ظرفیت زراعی برساند. در نتیجه توزیع مناسب تر در این لایه را به همراه داشته و دقت مدل را با توجه به فرضیه‌های گلوکوف افزایش داده است. بیشترین اختلاف میان شوری نهایی واقعی و شوری نهایی به دست آمده در تمام مدل‌های استفاده شده مربوط به اعماق ۷۵ تا ۱۵۰ سانتی‌متر بود. این اختلاف می‌تواند نشان‌دهنده این واقعیت باشد که مقادیر آب آبتوی رسیده به این عمق کمتر از مقدار مورد نیاز برای رساندن خاک به حالت اشباع است. بنابراین بر خلاف آنچه در فرضیه مدل‌ها ذکر شده، این مقدار آب قادر نخواهد بود نمک‌ها را از لایه‌های خاک شسته و از پروفیل خاک خارج کند. در خاک‌های سنگین بافت، قابلیت نفوذپذیری کمتر است. متغیرهایی مثل جرم ویژه ظاهری و تخلخل خاک به عنوان شاخص‌های بیانگر ساختمان خاک می‌توانند در نفوذ بیشتر آب به خاک و افزایش راندمان آبتوی موثر باشند. نتایج به دست آمده از آبتوی در سری سلمان با بافت سنگین با نتایج پذیرا (۱۳۸۵) مطابقت دارد. مقدار CRM مثبت در مدل مخزن با مجرای فرعی در سه سری خاک نشان دهنده کم برآوردی این مدل در تخمین شوری نهایی خاک است. مقدار CRM منفی در مدل‌های ستون پیوسته، حل عددی و سری مخازن نشان دهنده بیش برآوردی این مدل‌ها است.

بافت بودن خاک سری کرخه، امکان نگهداشت آب در خاک کم بوده و احتمال اینکه لایه‌های پایین نیمرخ برای مدتی طولانی‌تر تحت شرایط غرقاب و اشباع باشند، کاهش پیدا می‌کند. بنابراین این مدل در اعماق ۵۰ سانتی‌متری و بیشتر، نتایج قابل قبولی ارائه نداده است.

بر پایه جدول (۴)، مدل مخزن با مجرای فرعی ارقام شوری را بیش از سایر مدل‌ها پیش‌بینی می‌کند، لیکن روند پیش‌بینی با روند ارقام مشاهده شده تناسب بهتری دارد. خطای کم این مدل به علت متوسط‌گیری در عمق است و فرضیات ضریب آبتویی تناسب بسیار نزدیکی با فرضیات مدل دارد. مدل مخزن با مجرای فرعی با داشتن کمترین مقدار ME (۰/۱۹) و بیشترین مقدار CD (۱/۰۳)، بهترین مدل نظری شوری‌زدایی در این سری خاک بود. مقدار CRM مثبت در این مدل نشان دهنده کم برآوردی مدل است. همچنین مقدار EF برابر با یک در این مدل نشان می‌دهد که مدل پیش‌بینی بهتری در برآورد مقدار شوری نهایی پس از اعمال ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبتوی داشته است. پس از مدل مخزن با مجرای فرعی، مدل سری مخازن و مدل حل عددی به ترتیب بیشترین و کمترین تناسب را با داده‌های اندازه‌گیری داشته‌اند.

شکل (۴) منحنی‌های شوری‌زدایی نظری به دست آمده در سری سلمان را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد مدل‌های مورد بررسی در عمق‌های مختلف آب آبتوی عملکرد متفاوتی دارند. با این وجود در مقایسه با دیگر مدل‌ها، مقدار شوری نهایی برآورد شده با مدل سری مخازن به ازای مقادیر مختلف آبتوی از روند پایدارتری برخوردار است. مقدار شوری خاک پیش‌بینی شده در عصاره اشباع خاک پس از آبتوی به کمک مدل SRM در تمام لایه‌های پروفیل به مقادیر مشاهده‌ای بسیار نزدیک بود. این نتایج در شکل ۴ (الف-د) نشان داده شده است.

دقت مدل حل عددی در پیش‌بینی شوری خاک به ازای عمق آب آبتوی ۷۵ سانتی‌متر نسبت به مدل‌های دیگر بهتر است و در دیگر مقادیر آب کاربردی دقت



نتیجه گیری

با افزایش عمق خاک، پارامترهایی چون بافت و ساختمان خاک، نوع املاح و مقدار رطوبت اولیه بر بازده آبیاری و در نتیجه برآورد میزان شوری نهایی تاثیر می‌گذارند. کاهش ضریب بازده آبیاری ناشی از خروج سریع بخش زیادی از املاح در مراحل اولیه می‌باشد. همچنین بالا بودن مقدار نفوذپذیری و رطوبت اولیه خاک و پائین بودن شوری لایه سطحی خاک سبب افزایش راندمان آبیاری می‌شود. با توجه با ناهمگنی خاک محل آزمون و اشباع نشدن همه لایه‌های خاک به دلیل وجود درز و ترک و معابر فرعی می‌توان نتیجه گرفت که مقدار شوری پیش‌بینی شده خاک پس از آبیاری با مقادیر شوری اندازه‌گیری شده اختلاف دارد. نمودار آبیاری تئوری نشان داد، در کاهش میزان EC با عمق آب آبیاری اختلاف فازی وجود داشته که مقدار آن برای لایه‌های عمیق‌تر بیشتر می‌گردد، بدین معنی که با افزایش عمق آب آبیاری تا میزان معین، شوری لایه تغییر ننموده لیکن پس از آنکه مقدار آب آبیاری از حد معینی تجاوز نمود، در میزان EC روند نزولی مشاهده می‌گردد که نسبت به لایه‌ی اول (قبل) خطی‌تر بوده و فرم نمایی آن کمتر می‌گردد. این امر به دلیل مسئله کمبود رطوبتی لایه‌ها می‌باشد. بدین معنی که در ابتدا میزان معینی از آب آبیاری صرف جبران کمبود رطوبتی لایه‌ها گردیده، بدون اینکه از میزان آب آبیاری کاربردی نفوذی به اعماق زیرین انجام گیرد، بنابراین در کاهش شوری خاک یک لایه پس از کاربرد عمق آب آبیاری معین، یک اختلاف فازی وجود خواهد داشت که ناشی از کمبود رطوبتی لایه‌های فوقانی آن می‌باشد و این اختلاف فاز برای لایه‌های زیرین به صورت تجمعی بوده و مقدار آن

بیشتر می‌شود، زیرا جهت نفوذ آب آبیاری به لایه‌های زیرین باید کمبود رطوبتی مجموع لایه‌های فوقانی تأمین شده باشد. تمامی منحنی‌های آبیاری تئوری حاصله از مدل‌ها و برای لایه‌های متوالی خاک، تقریباً حالت نزولی داشته که مبین کاهش مقادیر شوری با افزایش عمق آب آبیاری می‌باشد. روند تغییرات در لایه‌ی اول بیشتر بوده و کاملاً حالت نمایی دارد، لیکن در لایه‌های زیرین، از آنجائی که مقداری از املاح از لایه‌های روئین شسته شده و با غلظت زیاد وارد این لایه‌ها می‌گردد، میزان تغییرات شوری با عمق آب آبیاری بطئی‌تر بوده و برای لایه‌های زیرین تقریباً خطی می‌باشد. در نهایت، هرچند که به ازای عمق‌های مختلف آب آبیاری، عملکرد مدل‌های مورد بررسی متفاوت بوده، لیکن با توجه به پایین بودن آماره RMSE در مدل سری مخازن نسبت به سایر مدل‌ها در هر سه سری خاک، این مدل برای آبیاری و اصلاح خاک منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر بوده و شوری نهایی را با دقت بیشتری برآورد می‌کند. این نتایج با نتایج پژوهش وزیری (۱۳۷۴) که چهار مدل نظری شوری‌زدایی خاک شامل مدل سری مخازن، مدل نظری ستون پیوسته خاک، مدل انتقال- انتشار و روش حل عددی را در دو منطقه رودشت اصفهان و کنگاور کرمانشاه با اجرای دو آزمون مزرعه‌ای در شرایط آبیاری غرقاب دائم و متناوب ارزیابی کرده و بیانگر دقت بیشتر مدل سری مخازن نسبت به دیگر مدل‌ها بوده، همخوانی دارد. همچنین، نتایج پژوهش مشعل و همکاران (۱۳۹۲) نیز در اراضی لابر دشت ساوه نشان داد که به ازای عمق‌های مختلف آب آبیاری مدل‌های مورد نظری عملکرد متفاوتی دارند، لیکن به‌طور کلی مدل سری مخازن، شوری نهایی را با دقت بیشتری برآورد می‌کند.

منابع

- اسدی کپورچال، ص.، م. همایی و ا. پذیرا. ۱۳۹۱. مدل‌سازی آب آبیاری مورد نیاز برای بهسازی خاکهای شور. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دوم، شماره ۳، ص ۸۳-۶۵.
- پذیرا، ا. ۱۳۸۵. شوری‌زدایی تدریجی خاک بوسیله فود عمقی آب آبیاری. چهارمین کارگاه فنی زهکشی، ص ۳۸-



پروانک بروجنی، ک. ۱۳۸۰، ارزیابی کاربرد مدل های نظری آبتیوی در اصلاح و بهسازی بخشی از خاک های شور و سدیمی استانهای خوزستان و اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، کتابخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

محمدزاده، م.، همایی و ا. پذیرا. ۱۳۹۲. مدلی کاربردی برای بهسازی خاکهای شور و سدیمی. نشریه حفاظت آب و خاک، سال سوم، شماره ۱، ص ۴۳-۵۹.

مشعل، م.، دانشور، س. امامی و م. وراوی پور. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل های نظری آبتیوی املح خاک (مطالعه موردی: اراضی لابار- دشت ساوه). نشریه مدیریت آب و آبیاری، سال سوم، شماره ۱، ص ۱۳۴-۱۲۱.

وزیری، ژ. ۱۳۷۴. ارزیابی مدل های شوری زدایی خاک با آزمون مزرعه ای، دانشگاه صنعتی اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد.

Asadi Kapourchal, S., M. Homae and E. Pazira. 2011. Desalinization model for large scale application. *International Journal of Agricultural Science and Research, (IJASR)*, 1(2): 25-32.

Asadi Kapourchal, S., M. Homae and E. Pazira. 2013. A Parametric Desalinization Model for Large Saline Soil Reclamation. *Journal of Basic and Applied Scientific research*, 3(3): 774-783.

Asadi Kapourchal, S., S. Asadi Kapourchal, E. Pazira and M. Homae. 2009. Assessing gradish potential for phytoremediation of lead- polluted soils resulting from air pollution. *Plant, Soil and Environment*, 55: 202-206.

Burns, I.G. 1974. A model for predicting the redistribution of salt applied to fallow soils after excess rain fall or evaporation. *European Journal of Soil Science*, 25: 165-178.

Dieleman, P.J. 1963. Reclamation of salt affected soils in Iraq. Veenman, wageningen, 175 P.

Eloubaidy, A.F., S.M. Hussain and M.T. Al-Taie. 1993. Field evaluation of desalinization models. *Agricultural Water Management*, 24 (1): 1-13.

Esmaili, E., S. Asadi Kapourchal, M. J. Malakouti and M. Homae. 2008. Interactive Effect of Salinity and Two Nitrogen Fertilizers on Growth and Composition of Sorghum. *Plant Soil and Environment*, 56(12): 537-546.

Glueckauf, D. 1949. Activity coefficientds in concentrated solution containing several electrolytes. *Nature*, 163: 414-415.

Homae, M., C. Dirksen, and R. Feddes. 2002. Simulation of root water uptake: I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agricultural Water Management*, 57(2): 89-109

Hoffman, G.J. 1980. Guidelines for reclamation of salt-affected soils. In: *Proceedings of International American Salinity and Water Management, Technical Conference, Juar, Mecxico*, PP: 49-64.

Jalali, V.R., S. Asadi Kapourchal and M. Homae. 2017. Evaluating performance of macroscopic water uptake models at productive growth stages of durum wheat under saline conditions. *Agricultural Water Management*, 180: 13-21

Mahler, P.J. 1979. *Manual of land classification for irrigation*, No. 205, Soil Institute of Iran, Rev.3.

Reeve, R.C. 1957. The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. *Third Congress of International Commission on and Drainage, Transactions*, 5: 10.175- 10.187.

Rhoades, J.D. 1974. Drainage for salinity control. In: van Schilfgaarde, J. (Ed.), *Drainage for Agriculture. Agronomy Monograph No. 17. SSSA, Madison, WI*, pp. 433-461.

Van Der Molen, W.H. 1979. Salt balance and leaching requirement. *Drainage principles and application. Vol. II. ILRI. Wageningen. The Netherlands*

Verma, SK., and R.K. Gupta. 1989. Leaching of saline clay soil under two modes of water application. *Journal Ind Society Soil Science*, 37: 803-809

Yitayew M. and C. Reynolds. 1977. The cost saving: The Low-Head gravity-flow bubbler Irrigation system advantages, *American Society of Agricultural Engineers*, No. 972184.



Evaluating efficiency of theoretical saline soils leaching models in Azadegan plain

Maryam Mohammazadeh¹, Mehdi Homae², Safoora Asadi Kapourchal³, Mahnaz Eskandari⁴

Abstract

Soil and water salinity is one of the most important factors in reducing the yield of plants in arid and semi-arid regions, which tends to limit plant growth and its development. In saline soils, yield production directly influences by soluble salts in the root zone as well as by shallow water table depth. The first step for reclamation of such soils is reducing salinity to optimum level by leaching practice. Assessing the quantity of water required for this practice, as well as saving the applied water and proper use of water resources for optimal water management are of great importance for leaching process. The objectives of this study were to investigate theoretical models to predict ultimate salinity and to compare the predicted outcomes with experimentally obtained data. For this purpose, several field saline-sodic soil reclamation experiments were carried out in Jafir area, Khuzestan plain, Iran, by using double rings. All experiments were conducted by applying 100 cm water depth in four-25 cm intervals and intermittent ponding method. Four theoretical leaching models including series of reservoirs (SRM), numerical solution (NM), continuous column (TPTM) and secondary reservoir (SRBM) models were used to predict the ultimate salinity. All models outputs were then verified with the real data. Results indicated that among four examined models, the SRM and SRBM models provide more reliable outputs. Although the performance of studied models differed for different depths of applied leaching water, but considering the lower RMSE and RMSEn values of SRM model, this model is more suitable for forecasting the results of leaching and soil reclamation in the study area. This model could reasonably well estimate the designated final salinity.

Keywords: Saline soil, sodic soil, Leaching, Modeling

¹ Forest, Range and Watershed Management Organization, khuzestan Department of Natural Resources and Watershed Management, ahwaz, khuzestan, iran. 09163030721 Maryam_mohamadzadeh@yahoo.com

² Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 02148292582 mhomae@modares.ac.ir (Corresponding author)

³ Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. 09126873367 safooraasadi@guilan.ac.ir

⁴ Research Assistant. Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, 09178871214 m.skandari@areeo.ac.ir