

## مدلی کاربردی برای بهسازی خاک‌های شور و سدیمی

مریم محمدزاده<sup>۱\*</sup>، مهدی همایی<sup>۲</sup> و ابراهیم پذیرا<sup>۳</sup>

(۱) دانش‌آموخته دکتری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ گروه خاکشناسی؛ تهران؛ ایران

\* نویسنده مسئول مکاتبات: [maryam\\_mohamadzadeh@yahoo.com](mailto:maryam_mohamadzadeh@yahoo.com)

(۲) استاد؛ گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ۳۳۶۰-۱۴۱۱۵؛ ایران

(۳) استاد؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ گروه خاکشناسی؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۳۰

### چکیده

مدیریت بهینه خاک‌های شور، اهمیتی فراوان در حفاظت درست از منابع آب و خاک دارد. تجمع نمک‌های محلول در ناحیه رشد ریشه از بزرگترین مشکلات خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است. برای غلبه بر این مشکل، آبشویی نمک‌های محلول از این خاک‌ها ضروری است. مهم‌ترین چالش در برنامه‌های آبشویی، برآورد صحیح مقدار آب مورد نیاز برای اصلاح خاک‌های شور و شور-سدیمی است. هدف از این پژوهش، ارائه مدلی تجربی برای تعیین مقدار آب آبشویی و مقایسه نتایج با برخی مدل‌های تجربی موجود بود. بدین منظور، آزمایش‌هایی صحرایی در منطقه جفیر واقع در جنوب غرب خوزستان با مساحت ۲۱۲۸۵ هکتار و کلاس شوری و قلیائیت  $S_3A_2$  انجام گرفت. آبشویی به روش غرقاب متناوب با استفاده از شش استوانه دوگانه در یک آرایش دایره‌ای شکل انجام پذیرفت. در کلیه آزمایش‌ها، ۱۰۰ سانتی‌متر آب در چهار تناوب ۲۵ سانتی‌متری به کار برده شد. آب مورد نیاز از رودخانه کارون تأمین شد. چهار مدل ریاضی به داده‌های مزرعه‌ای برازش و بهترین مدل بدست آمد. برای منطقه مورد مطالعه، مدل توانی با ضریب تبیین  $0.83$  و خطای استاندارد  $0.44$  به عنوان مدل برتر برگزیده شد. نتایج نشان داد که روابط تجربی ارائه شده به وسیله رجب‌زاده (۲۰۰۹)، هافمن (۱۹۸۰) و لفلاز و شارما (۱۹۷۷) با نتایج حاصل از اجرای آزمون‌های صحرایی، تطابق مناسبی ندارد. روابط ارائه شده به وسیله ریو (۱۹۵۷) و پذیرا و کواچی (۱۹۸۱)، در مقایسه با مدل نوین ارائه شده در تخمین مقدار آب آبشویی خاک‌ها دارای بیش برآوردی اندکی بود. روابط ارائه شده به وسیله ورما و گوپتا (۱۹۸۹)، پذیرا و کشاورز (۱۹۹۸)، اسدی و همکاران (۲۰۱۳) و دیلمان (۱۹۶۳) نیز در مقایسه با مدل نوین دارای کم برآوردی اندکی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آبشویی؛ بهسازی خاک؛ خاک‌های شور و سدیمی؛ منحنی‌های آبشویی

### مقدمه

اختلال در رشد و نمو گیاهان و یا توقف کامل رشد گیاهان شود (جلالی و همایی، ۱۳۸۹؛ همایی، ۱۳۸۱). شور شدن خاک‌ها یا به صورت طبیعی و یا بر اثر فعالیت‌های انسان ایجاد می‌شود (جلالی و همکاران، ۱۳۸۷؛ حسینی و

تجمع نمک‌های محلول در خاک بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها اثر می‌گذارد (اسدی و همکاران، ۱۳۹۱). این اثر ممکن است منجر به ایجاد

افزون بر عملیات آبشویی، شوری آب آبیاری نیز بر مقدار عملکرد محصول و شور شدن دوباره اراضی تحت کشت موثر است (کیانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ ۱۳۸۴ الف و ب). به هنگام آبیاری با آب شور، کاهش عملکرد به شوری خاک و آب مورد استفاده بستگی دارد (Ben-Gal *et al.*, 2008). در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران که منابع آب آن دارای مقدار زیادی نمک‌های محلول است و بافت خاک اغلب متوسط تا سنگین می‌باشد، بارندگی سالانه برای شستشوی طبیعی نمک‌های موجود در نیمرخ خاک کافی نیست. کاربرد مقدار آب مورد نیاز برای کاهش نمک‌های خاک اهمیت زیادی دارد. به همین منظور برای برآورد مقدار آب مورد نیاز جهت آبشویی نمک‌های محلول، پژوهش‌هایی فراوان انجام گرفته است که نتایج آنها نشان می‌دهد برای دفع ۸۰ درصد از نمک‌های محلول خاک باید حجم آبی معادل ۱/۵ برابر حجم منفذی<sup>۱</sup> خاک از آن عبور کند (Reeve, 1957; Gardner and Brooks, 1957). برای اصلاح ۱۰۰ سانتی‌متر خاک، در شرایط متفاوت مزرعه‌ای حدود ۰/۳۰ تا ۲/۵۸ متر آب مورد نیاز است (Gupta, 1992). ارزیابی مقدار آب مورد نیاز برای آبشویی نمک‌های محلول خاک از اقدامات مهم در برنامه‌ریزی اصلاح خاک‌های شور است. عمق آب لازم برای آبشویی به فاکتورهایی چند از جمله شوری اولیه، بافت، عمق خاک و روش آبشویی بستگی دارد (Corwin *et al.*, 2007). راندمان آبشویی در روش‌های غیراشباع در مقایسه با غرقاب دایم به علت ایجاد شرایط غیراشباع و عبور آب از منافذ ریز بیشتر است (Cote *et al.*, 2000). به منظور افزایش راندمان آبشویی، بهتر است که رطوبت خاک در حد کمتر از رطوبت اشباع باشد (Nielsen and Biggar, 1961)، زیرا بیشترین مقدار آبشویی نمک‌های محلول از خاک در چنین شرایطی صورت می‌گیرد (Gardner and Fireman, 1958).

همکاران، ۱۳۸۷). بارندگی کم و تبخیر زیاد، از جمله عوامل طبیعی شور شدن خاک‌هاست. به دلیل گستردگی خاک‌های شور بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، پژوهش‌هایی پرشمار پیرامون آنها صورت گرفته است. برخی از این پژوهش‌ها به بررسی اثر شوری بر عملکرد گیاهان مختلف پرداخته‌اند (جلالی و همکاران، ۱۳۸۶ الف و ب؛ کیانی و همکاران، ۱۳۸۵، ۱۳۸۴ الف و ب؛ ۱۳۸۳، ۱۳۸۲) برخی از پژوهشگران نیز اثرات تغذیه‌ای و حاصلخیزی خاک‌های شور را مورد بررسی قرار داده‌اند (سعادت و همکاران، ۱۳۸۴؛ حسینی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Esmaeili *et al.*, 2008). در برخی از پژوهش‌ها نیز به مدل‌سازی پاسخ گیاهان به شوری در شرایط مختلف پرداخته شده است (Homaei *et al.*, 2002a,b,c,d; Homaei and Schmidhalter, 2008). صرف‌نظر از اینکه عامل شوری مربوط به عوامل طبیعی است یا عوامل انسانی، عملیات آبشویی به تنهایی و یا به همراه احداث شبکه‌های زهکشی راه‌حلی‌هایی غیرقابل جایگزینی برای شوری‌زدایی خاک‌های شور است (پذیرا و همایی، ۱۳۸۵). برای بهسازی خاک‌های شور، چاره‌ای جز آبشویی نمک‌ها از ناحیه رشد ریشه گیاهان نیست (پذیرا و همایی، ۱۳۸۵؛ Asadi *et al.*, 2011; Noroozi *et al.*, 2012). هدف اصلی آبشویی، کاهش شوری خاک تا مقداری مشخص در ناحیه توسعه ریشه‌ها است، مگر آنکه زهکشی داخلی خاک نامناسب باشد و یا نتوان اقدام به احداث زهکش مصنوعی نمود (پذیرا، ۱۳۷۶؛ پذیرا و همایی، ۱۳۸۵). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از فاکتورهای اصلی مشخص‌کننده مقدار آب مورد نیاز برای آبشویی می‌باشند. منحنی‌های آبشویی برای تعیین مقدار آب مورد نیاز آبشویی نمک‌ها و رسیدن به یک سطح شوری متعادل به کار می‌روند (Pazira and Homaei, 2010). آبشویی نمک‌های محلول خاک از ناحیه رشد ریشه گیاهان به دو روش آبیاری غرقاب (دائم و متناوب) و بارانی انجام می‌شوند.

<sup>1</sup> Pore volume

گیاهان در خاک‌های با شوری زیاد ارائه شده است (Shani *et al.*, 2007; Homaei *et al.*, 2002a,b). روابط تجربی و منحنی‌های آبشویی را می‌توان در محدوده نوع خاک، میزان شوری و یا درصد سدیم تبادلی خاک، برای عمق معینی از خاک مورد استفاده قرار داد. مدل‌های تجربی فراوانی توسط پژوهشگران ارائه شده است که از آن‌جمله می‌توان به پژوهش‌های Reeve (۱۹۵۷)، Dieleman (۱۹۶۳)، Hoffman (۱۹۸۰)، Pazira و kawachi (۱۹۸۱) و Gupta و Verma (۱۹۸۹) اشاره کرد. در ایران برای اکثر استان‌هایی که با مشکل شوری روبرو هستند، آزمایش‌های آبشویی اجرا شده است (Pazira and Kawachi, 1981). بر پایه پژوهش‌ها و آزمون‌های پرشماری که در سال‌های متمادی در بخش مرکزی استان خوزستان انجام شده، رابطه‌ای تجربی به شکل هذلولی ارائه گردیده است. همچنین، Pazira و keshavarz (۱۹۹۸) به‌منظور برآورد آب مورد نیاز آبشویی در اراضی شور و سدیمی جنوب شرقی استان خوزستان مدلی نمایی ارائه کرده‌اند (Pazira and Keshavarz, 1998). Mohsenifar و همکاران (۲۰۰۶)، پژوهشی در زمینه کاربرد انواع مدل‌های آبشویی در دو منطقه جنوب شرقی استان خوزستان انجام دادند. هدف از این پژوهش، رسم منحنی‌های شوری و سدیم‌زدایی و بررسی اثر ماده اصلاح کننده بر شستشوی نمک‌ها و سدیم تبادلی در مناطق یاد شده بود. همچنین، ارائه یک رابطه تجربی مناسب به منظور استفاده در برآورد آب مورد نیاز برای اصلاح مناطق همجوار از دیگر اهداف پژوهش آنها بوده است. Rajab zadeh و همکاران (۲۰۰۹) پژوهشی را در اراضی میانی استان خوزستان به روش غرقاب متناوب انجام دادند. در این پژوهش، یک مدل تجربی برای اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و سدیمی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است (Rajab zadeh *et al.*, 2009). همچنین در پژوهشی که به منظور برآورد آب مورد نیاز آبشویی در اراضی شور و سدیمی جنوب استان خوزستان انجام گرفته، مدل

پرسشی که پیش از هر آزمون آبشویی مطرح می‌شود این است که برای کاهش سطح شوری مورد نظر چه مقدار آب باید به خاک داده شود. برای این منظور، می‌توان از مدل‌های شبیه‌ساز برای تعیین مقدار آب آبشویی لازم استفاده کرد (بی‌نام، ۱۳۸۱). تاکنون در این زمینه مطالعات مختلفی صورت گرفته است. Burt و همکاران (۲۰۰۵) روش آبشویی نوینی را برای اصلاح خاک و آبشویی در یک باغستان پسته در جنوب کالیفرنیا به‌کار بردند. در این پژوهش مقدار آب مورد نیاز برای انتقال نمک‌ها از ناحیه رشد ریشه درختان را به روش جریان آهسته در خطوط چندگانه به‌کار بردند. این پژوهشگران با بررسی یافته‌هایشان به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهادی برای آبشویی و اصلاح اراضی مناسب است. یک ارزیابی اقتصادی نیز توسط Corwin و همکاران (۲۰۰۷) برای مقایسه روش‌های آبشویی به‌کار گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد در انتقال نمک‌ها، مدل‌های پایدار برتری بیشتری نسبت به مدل‌های غیرپایدار دارند. Rao و Leeds-Harrison (۱۹۹۱) در منطقه هاریانای هند با هدف افزایش بازده آبشویی، روش‌های مختلف آبیاری را شبیه‌سازی نموده و رابطه لاپلاس را به صورت حل عددی برای بدست آوردن الگوی جریان آب و روابط جریان توده‌ای برای به‌دست آوردن توزیع مکانی نمک در خاک به‌کار بردند. نتایج کار آنان نشان داد که برای اصلاح خاک‌های منطقه، ابتدا باید این خاک‌ها را غرقاب کرد و سپس اقدام به آبیاری متناوب نمود.

به‌دلیل تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز در شرایط مزرعه مشکلاتی ایجاد می‌کند. لیکن، استفاده از مدل‌های تجربی برای برنامه‌های اصلاحی خاک مفید است (بی‌نام، ۱۳۸۵). مدل‌های تجربی حاصل داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری‌های تجربی هستند که بر نوعی رابطه ریاضی برآزش داده می‌شوند. در این میان، مدل‌هایی ریاضی نیز برای تعیین سرعت جذب آب توسط

است، می‌باشند. هر سه سری خاک، بر اساس مطالعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی از نظر شوری و سدیمی بودن در کلاس  $S_3A_2$  طبقه‌بندی شده‌اند. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به ترتیب اریدیک و هایپرترمیک است. نفوذپذیری این خاک‌ها از متوسط تا آهسته متغیر است. سری خاک سابله در طبقه‌بندی آمریکایی جزء خاک‌های Fine, carbonatic, hyperthermic, Fluventic, Haplocambids است. سری خاک کرخه جزء خاک‌های Fine loamy, carbonatic, hyperthermic, Typic Fine, Torrifuvent و سری خاک سلمان جزء خاک‌های carbonatic, hyperthermic, Gypsic Haplosalids قرار دارند. برای شوری‌زدایی خاک‌ها اقدام به آبخوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک گردید. آب مورد نیاز از رودخانه کارون و به روش غرقاب متناوب (Loaiciga and Allison, 2007) با هدایت الکتریکی  $1/47$  دسی‌زیمنس بر متر تأمین شد. برای بررسی امکان شوری و سدیم‌زدایی خاک‌های منطقه مذکور سه آزمون به روش استوانه‌های دوگانه و در یک آرایش دایره‌ای انجام شد. عمق آب کاربردی  $100$  سانتی‌متر بود که در  $4$  تناوب  $25$  سانتی‌متری اعمال شد.

نمونه‌برداری از اعماق  $0-25$ ،  $25-50$ ،  $50-75$ ،  $75-100$  و  $100-150$  سانتی‌متری انجام گرفت. نمونه‌های خاک پیش، حین و پس از کاربرد هر تناوب آبخوئی برداشته شد و برای اعمال تجزیه‌های لازم به آزمایشگاه ارسال گردید. در هر آزمایش مقدار هدایت الکتریکی، pH خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبدالی و درصد آهک و گچ اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک برای سری‌های خاک مورد مطالعه در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. برای جلوگیری از تبخیر از سطح خاک به هنگام نمونه‌برداری‌ها، سطح خاک با ورقه‌های نایلونی پوشانده شد.

لگاریتمی در مقایسه با دیگر مدل‌های رایج با کاربرد یک متر عمق آب آبخوئی در چهار تناوب  $0/25$  متری بیشترین کارایی را داشته است (Asadi et al., 2011; Asadi et al., 2013). هدف از این پژوهش، ارزیابی کمی منحنی‌های تجربی آبخوئی بود. همچنین، در این پژوهش با برازش برخی مدل‌ها بر داده‌های میدانی، مدلی نوین برای شوری‌زدایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه ارائه گردید.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش‌های آبخوئی در سه سری از خاک‌های منطقه جفیر در جنوب جلگه خوزستان انجام شد. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا  $18$  متر و دارای تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های معتدل است. براساس طبقه‌بندی آمبرژه جزء اقلیم بیابانی گرم میانه محسوب می‌شود. میانگین بارندگی سالانه  $233$  میلی‌متر و مقدار تبخیر اندازه‌گیری شده از تشتک تبخیر کلاس (A)،  $2169$  میلی‌متر در سال است. دو رودخانه مهم استان خوزستان، کارون و کرخه، از نزدیکی محدوده مورد مطالعه عبور می‌کنند. منطقه مطالعاتی، دشتی رسوبی است که از رسوبات این دو رودخانه تشکیل شده است. رودخانه کرخه در شمال محدوده مطالعاتی و رودخانه کارون در شرق آن قرار دارد. کیفیت آب رودخانه کرخه و کارون طی فصول مختلف سال نوسان دارد لیکن در دراز مدت با توجه به دیاگرام ویلکاکس (Richards, 1957) به ترتیب در کلاس‌های  $C_2S_1$  و  $C_3S_1$  قرار می‌گیرد که نشان دهنده خطر شوری متوسط تا زیاد و خطر سدیمی کم است. مطالعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی انجام شده در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که از مجموع  $40000$  هکتار زمین‌های مورد مطالعه، مسئله شوری و سدیمی بودن خاک‌ها به درجات متفاوت وجود دارد. سری‌های خاک سابله، کرخه و سلمان به ترتیب دارای مساحتی معادل  $3425$ ،  $3015$  و  $14845$  هکتار که معادل  $8/56$ ،  $7/53$  و  $37/11$  درصد از کل اراضی مورد مطالعه

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه پیش از آیشویی

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

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه پیش از آیشویی

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

توجه به ارقام جدول‌های ۲، ۳ و ۴ متغیرهایی به شکل روابط زیر تعریف گردید:

$$x = \frac{D_{lw}}{D_s}, Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} \quad (1)$$

$$x = \frac{D_{lw}}{D_s}, Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}} \quad (2)$$

که در آن‌ها  $EC_f$  و  $EC_i$  به ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، پیش و پس از آبیروی (dS/m)،  $EC_{eq}$  هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در حالت تعادل (dS/m)،  $ESP_f$  و  $ESP_i$  به ترتیب درصد سدیم تبادلی پیش و پس از آبیروی،  $ESP_{eq}$  درصد سدیم تبادلی در حالت تعادل،  $D_{lw}$  عمق آب آبیروی کاربردی (cm)،  $D_s$  عمق خالص آب آبیروی (cm) و  $D_s$  عمق لایه خاک (cm) می‌باشند.

کاستن مقدار  $EC_{eq}$  و  $ESP_{eq}$  از صورت و مخرج کسرهای معادلات ۱ و ۲ موجب می‌شود تا نتایج حاصل از اثرات عوامل خارجی همچون مقدار تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاک، کیفیت آب آبیروی و شرایط اجرای آزمایش، مستقل شوند. در واقع با این کار، تابع از حالت صریح به تابعی ضمنی تبدیل می‌شود. پس از دستیابی به همه ارقام آزمون‌های آبیروی، تجزیه و تحلیل‌های لازم با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS، Curve Expert و Excel انجام شد. بدین ترتیب که چهار مدل ریاضی شامل مدل‌های توانی، نمایی، معکوس و لگاریتمی به ارقام هدایت الکتریکی برآزش داده شد. برای هر سری از خاک‌های مورد آزمایش، بهترین مدل تجربی انتخاب گردید. سپس با ترکیب همه نتایج، بهترین مدل تجربی برای منطقه مورد مطالعه بدست آمد. این مدل‌ها با برخی معیارهای آماری مانند ضریب تبیین و خطای استاندارد و در سطح معنی‌داری ۱٪ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. آنگاه مناسب‌ترین مدل شوری‌زدایی خاک‌های مورد آزمون تعیین شد.

جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که بافت خاک از لوم تا سیلتی رسی لومی در سری سابله و از لوم تا شنی در سری کرخه و از رسی تا سیلتی رسی لومی در سری سلمان متغیر است. جرم ویژه ظاهری خاک بین ۱/۵۵ تا ۱/۶۵ در سری خاک سابله، از ۱/۶۰ تا ۱/۶۸ در سری خاک کرخه و ۱/۵۰ تا ۱/۵۵ گرم بر سانتی متر مکعب در سری سلمان، بسته به بافت لایه‌های خاک، متغیر می‌باشد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بین ۱۲/۵۰ تا ۳۰/۹۰ در سری سابله متغیر بود که با افزایش عمق، مقدار هدایت الکتریکی افزایش داشت. همین شرایط در سری کرخه و سلمان نیز دیده شد. مقدار هدایت الکتریکی از ۴۶/۵۰ تا ۳۴/۴۲ و از ۴۲/۹۰ تا ۲۶/۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در سری کرخه و سلمان متغیر بود. تغییرات واکنش خاک در هر سه سری خاک ناچیز بود. مقدار درصد سدیم تبادلی از ۱۴/۳۶ تا ۲۴/۷۹ در سری سابله و از ۱۴/۱۲ تا ۱۵/۸۰ در سری کرخه و از ۳۲/۱۶ تا ۲۹/۱۱ در سری سلمان متغیر بود. این تغییرات برای آهک و گچ نیز در هر سه سری خاک مشاهده شد.

بر پایه جدول‌های ۱ و ۲ و با استفاده از ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و درصد سدیم تبادلی محاسبه شده از طریق رابطه تجربی، میانگین وزنی  $EC_e$  و  $ESP$  برای لایه‌های ۰-۲۵، ۰-۵۰، ۰-۷۵، ۰-۱۰۰ و ۰-۱۵۰ سانتی‌متری محاسبه شد. چون امکان دارد همه آب به‌کار برده شده صرف آبیروی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک نشود و مقداری از آن صرف جبران کمبود رطوبت خاک شود، در این صورت حتی کاربرد آب آبیروی به مقدار زیاد نیز منجر به ایجاد تعادل شیمیایی خاک با آب آبیروی نمی‌شود. بدین معنی که مقدار هدایت الکتریکی تعادلی خاک از هدایت الکتریکی آب آبیاری کمی بیشتر است. به همین منظور، در این پژوهش مقدار هدایت الکتریکی تعادلی، ۱/۱۵ برابر شوری آب آبیاری بدست آمده است. بر پایه مقادیر  $EC_e$ ،  $ESP$ ،  $EC_{eq}$  و  $ESPeq$  لایه‌های مختلف و با

جدول ۳. ویژگی‌های شیمیایی لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک پس از آبیاری در سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه

سری خاک	عمق نمونه برداری (cm)	EC (dS/m)	pH	آهک (%)	گچ (%)	CEC Meq/100gr	Ex.Na Meq/100gr	SAR (Meq/lit) <sup>0.5</sup>	ESP
سری سابله	۰-۲۵	۳/۴۲	۷/۸۲	-	۳/۳۰	۹/۳۰	۰/۷۰	۵/۹۶	۷/۶۰
	۲۵-۵۰	۵/۹۰	۷/۶۵	-	۳/۲۹	۱۰/۷۰	۱/۳۸	۱۳/۹۵	۱۶/۳۱
	۵۰-۷۵	۲۵/۴۵	۷/۷۲	-	۱/۳۳	۱۱/۱۰	۲/۲۷	۲۸/۰۷	۲۱/۴۲
	۷۵-۱۰۰	۲۹/۰۵	۷/۵۰	-	۱/۱۶	۱۱/۲۰	۲/۴۵	۲۹/۳۰	۲۰/۳۴
	۱۰۰-۱۵۰	۳۰/۷۰	۷/۳۲	-	۱/۳۶	۲/۸۰	۱/۹۱	۲۲/۱۴	۱۲/۰۳
میانگین	۱۶/۶۴	۷/۵۰	-	۱/۸۷	۱۱/۴۲	۱/۹۱	۲۰/۰۸	۱۵/۵۴	
اختلاف	-۵/۹۶	-۰/۰۴	n.d	+۰/۲۲	+۲/۴	-۲/۵۷	+۲/۲۷	-۴/۴۹	
سری کرخه	۰-۲۵	۲/۹۲	۷/۸۵	-	۳/۳۰	۷/۰۰	۰/۶۸	۵/۰۰	۵/۶۴
	۲۵-۵۰	۵/۴۸	۷/۶۵	-	۳/۲۹	۷/۲۰	۱/۷۵	۱۰/۲۷	۱۱/۹۷
	۵۰-۷۵	۱۲/۸۱	۷/۵۷	-	۱/۳۳	۶/۱۰	۱/۵۱	۱۲/۲۲	۱۴/۱۶
	۷۵-۱۰۰	۲۲/۷۲	۷/۶۲	-	۱/۱۶	۶/۲۰	۱/۰۵	۱۲/۳۷	۱۴/۱۳
	۱۰۰-۱۵۰	۱۴/۵۲	۷/۳۲	-	۱/۳۶	۴/۸۰	۰/۹۵	۱۲/۹۲	۱۵/۰۰
میانگین	۱۶/۶۸	۷/۶۶	-	۱/۸۷	۶/۳۸	۱/۸۱	۱۲/۱۹	۱۲/۳۰	
اختلاف	-۲۱/۷۲	+۰/۰۶	n.d	+۰/۱۶	-	+۰/۳۷	-۲/۲۳	-۵/۴۱	
سری سلمان	۰-۲۵	۳/۶۰	۷/۸۲	-	۵/۰۵	۱۱/۰۰	۰/۶۸	۸/۰۰	۹/۵۴
	۲۵-۵۰	۵/۹۰	۷/۶۵	-	۲/۳۵	۱۳/۵۰	۰/۸۲	۸/۷۷	۱۰/۴۶
	۵۰-۷۵	۲۳/۴۵	۷/۷۲	-	۱/۶۰	۱۳/۵۰	۳/۸۶	۲۵/۴۲	۲۶/۶۰
	۷۵-۱۰۰	۳۴/۰۵	۷/۵۰	-	۳/۶۵	۱۱/۵۰	۳/۳۶	۳۵/۱۰	۳۶/۳۴
	۱۰۰-۱۵۰	۳۸/۷۰	۷/۳۲	-	۱/۲۸	۱۲/۴۰	۴/۲۰	۴۰/۴۴	۲۶/۸۶
میانگین	۲۱/۱۴	۷/۵۰	-	۲/۷۸	۱۲/۳۸	۲/۵۶	۲۱/۵۴	۲۱/۹۶	
اختلاف	-۱۴/۷۲	+۰/۱۰	n.d	+۰/۱۶	-	-۱/۹۸	-۱۷/۱۸	-۱۶/۹۶	

$ESP = Ex.Na^+ \times 100 / CECn.d$  \* اندازه گیری نشده است

- علامت کاهش

+ علامت افزایش

### نتایج و بحث

بر پایه جدول ۳ پس از کاربرد آب آبیاری، مقدار EC<sub>e</sub> خاک کاهش یافت. این توزیع که عکس توزیع نمک‌ها پیش از آبیاری است به علت شسته شدن نمک‌ها از سطح به عمق است. پس از آبیاری، کاهش زیادی در EC<sub>e</sub> و ESP همه لایه‌ها مشاهده شد. این کاهش برای لایه‌های سطحی به ویژه لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری، بیشتر بود. پس از آبیاری، ESP خاک نیز کاهش یافت و این کاهش به ویژه در لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری بیشتر بود. از آنجا که عامل موجد شوری ثانویه در این خاک‌ها نمک کلرور سدیم است، با هر

افزایش در غلظت آن، به همراه افزایش شوری بر مقدار سدیمی بودن نیز افزوده می‌شود. لیکن چون این نمک حلالیت بسیار زیادی در آب دارد، بر اثر آبیاری به آسانی از خاک شسته می‌شود. در مجموع، پس از آبیاری، مقدار EC<sub>e</sub> در سری سابله، کرخه و سلمان به ترتیب به اندازه ۵/۹۶، ۱۴/۷۲ و ۱۱/۷۲ دسی زیمنس بر متر و ESP به ترتیب به اندازه ۴/۴۹، ۵/۴۱ و ۱۶/۹۶ درصد کاهش داشته اند.

با استفاده از ارقام بدست آمده از دو متغیر X و Y از آزمون‌های مزرعه‌ای، چهار مدل ریاضی به آن‌ها برازش

در سری سلمان، مدل لگاریتمی بهترین نتیجه را با ضریب تبیین ۰/۷۴۴ و خطای استاندارد ۰/۰۴ در سطح معنی‌دار ۱ درصد نشان داد. رابطه بدست آمده به صورت زیر است:

$$Y = 0.18 + (0.13). \ln x \quad (۸)$$

بر پایه روابط ۵ و ۶ بازده آبشویی برای سری‌های کرخه و سلمان به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۲۱ محاسبه شد که با بافت خاک منطقه همخوانی دارد (بی‌نام، ۱۳۸۵). از بین چهار مدل ریاضی توانی، لگاریتمی، معکوس و نمایی برآزش داده شده به ارقام شوری‌زدایی منطقه مورد مطالعه، مدل توانی با ضریب تبیین ۰/۸۲۶ و خطای استاندارد ۰/۴۴ در سطح معنی‌دار ۱٪ برآورد شد که در روابط زیر نشان داده شده است:

$$Y = 0.1107. X^{-0.952} \quad (۹)$$

$$\frac{ECf - ECeq}{ECi - ECeq} = 0.1107. \frac{Dlw^{-0.952}}{Ds} \quad (۱۰)$$

در صورت مشخص بودن متغیرها می‌توان عمق آب آبشویی لازم برای اصلاح خاک را با استفاده از رابطه ۱۱ محاسبه کرد:

$$Dlw = Ds. [(0.1107) \left( \frac{ECi - ECeq}{ECf - ECeq} \right)]^{1.05} \quad (۱۱)$$

با کاربرد روابط ۳، ۷ و ۸ منحنی‌های شوری‌زدایی برای سری‌های خاک منطقه بدست آمد که نتایج حاصل در شکل ۱ نشان داده شده اند.

داده شد. برای سری سابله، مدل نمایی با ضریب تبیین ۰/۸۴۰ و خطای استاندارد (SE) ۰/۳۹ در سطح معنی‌داری ۱٪ به عنوان بهترین مدل حاصل شد که می‌توان آن را به صورت زیر نشان داد:

$$Y = 0.6981. \exp^{-0.396.X} \quad (۳)$$

از محاسن مدل نمایی آن است که می‌توان ضریب راندمان آبشویی را در آن به صورت زیر لحاظ کرد:

$$Y = 0.6981. \exp^{-0.396.X. \left( \frac{f}{\theta_p} \right)} \quad (۴)$$

که در آن  $f$  بازده آبشویی است که کمیته بدون بعد بوده و به بافت خاک بستگی دارد و  $\theta_p$  رطوبت حجمی خاک ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) است.

بازده آبشویی را می‌توان از روابط تجربی زیر نیز بدست آورد:

$$f = \frac{r. ECw}{ECeq} \quad (۵)$$

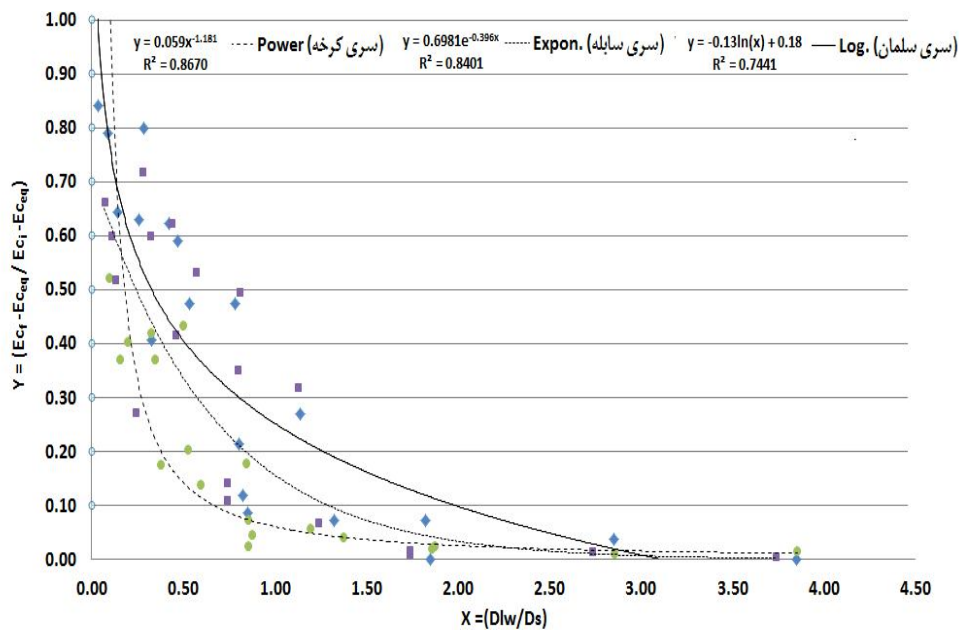
$$r = \frac{Dw}{Ds} \quad (۶)$$

با استفاده از روابط ۵ و ۶ بازده آبشویی برابر با ۰/۳۵ محاسبه شد که با بافت خاک منطقه همخوانی دارد (بی‌نام، ۱۳۸۵).

مناسب‌ترین مدل برآورد شده در سری کرخه، مدل توانی با ضریب تبیین ۰/۸۶۷ و خطای استاندارد ۰/۴۱۴ در سطح معنی‌دار ۱ درصد بود که به صورت معادله زیر بدست آمد:

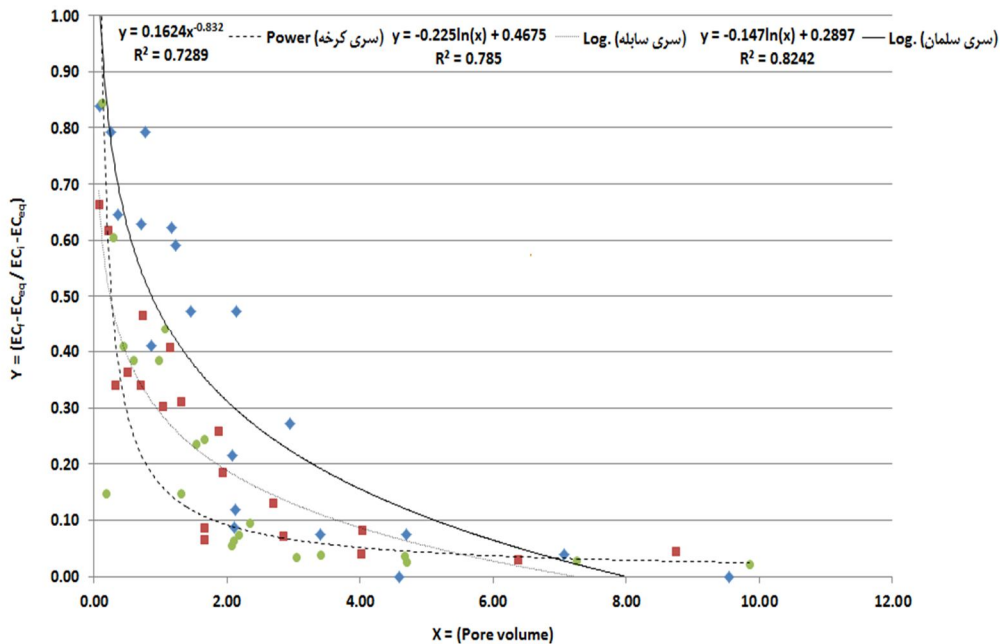
$$Y = 0.059. X^{-1.181} \quad (۷)$$





شکل ۲. منحنی‌های شوری‌زدایی خاک در سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه

همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، آبشویی نمک‌ها در سری کرخه، سابله و سلمان به ترتیب آسان، متوسط و دشوار بوده است. همچنین مقایسه این سه منحنی نشان می‌دهد که در سری سلمان، آب بیشتری برای آبشویی نسبت به سری‌های کرخه و سابله لازم است.



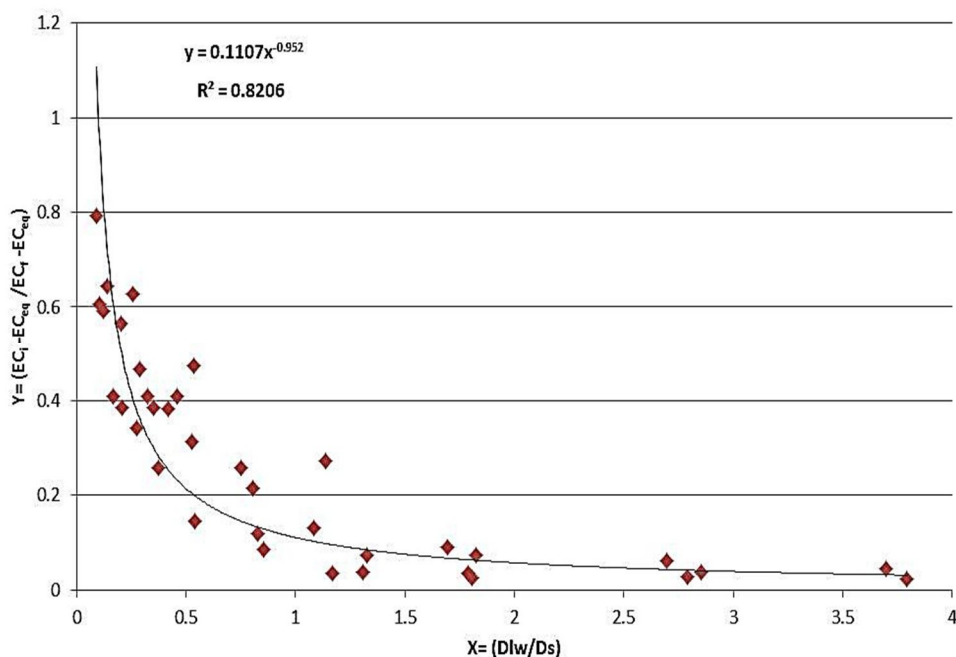
شکل ۳. منحنی شوری‌زدایی خاک به ازای مقادیر متفاوت حجم آب منفذی در سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه

بیان شوری‌زدایی بر پایه حجم تخلخل منفذی نسبت به خاک باشد. زیرا نسبت آب به خاک کل ستون را به عنوان خلل و فرج در نظر می‌گیرد، حال آنکه چنین فرضی در  $D_{lw}/D_s$  بهتر می‌تواند بیانگر آبشویی نمک‌ها از لایه‌های

و عمق خالص آب مورد نیاز برای عملیات اصلاحی ( $D_{1w}$ ) را برآورد کرد. باید توجه داشت، به‌منظور برآورد کل میزان آب لازم برای آبشویی باید به مقادیر کسر رطوبتی لایه خاک موردنظر، تبخیر از سطح آب و خاک و میزان بارندگی توجه نموده و این عوامل را در محاسبات و برنامه‌ریزی های آبشویی در نظر گرفت.

طبیعت وجود ندارد. لیکن حجم خلل و فرج در واقع همان حجمی است که آب آبشویی از آن عبور می‌کند. هرچند که ضرایب تبیین بدست آمده بر مبنای تخلخل حجمی کمتر از نسبت آب به خاک است، لیکن مقادیر آن واقعی‌تر بوده و برای ارزیابی تغییرات شوری خاک مناسب‌تر است.

منحنی شوری‌زدایی بدست آمده بر پایه رابطه ۹ برای خاک‌های منطقه، در شکل ۳ نشان داده شده اند. با استفاده از این منحنی می‌توان هدایت الکتریکی نهایی خاک ( $EC_f$ )



شکل ۳. منحنی شوری‌زدایی منطقه مورد مطالعه

$$Y' = 100 - \left( \frac{EC_f}{EC_i} \times 100 \right) \quad (13)$$

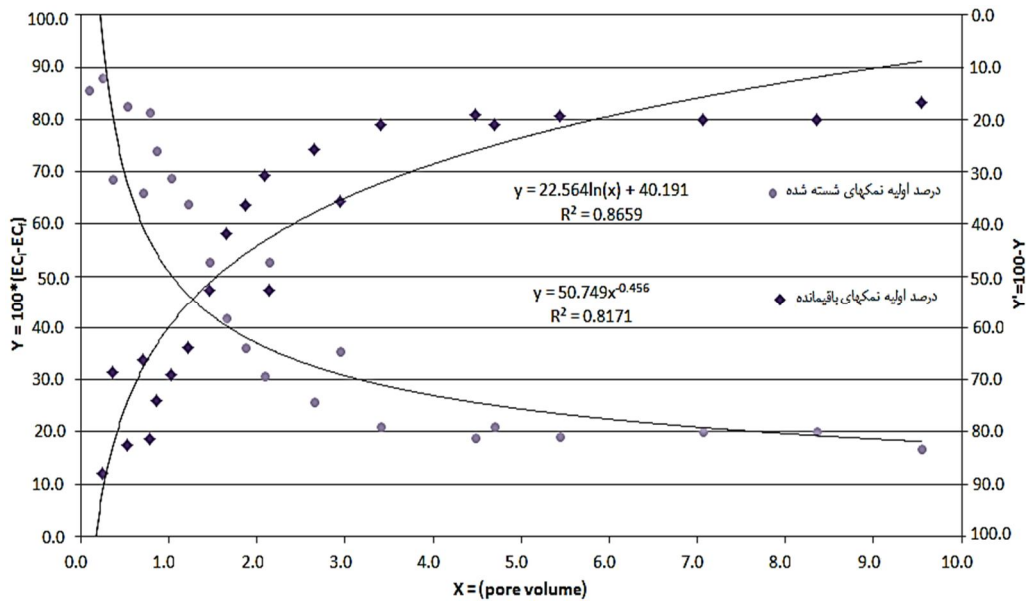
$$X = P.V = D_w / (n \times D_s) \quad (14)$$

که در آنها  $D_w$  عمق آب آبشویی کاربردی (cm)،  $Y$  درصد نمک‌های شسته شده،  $Y'$  درصد نمک‌های باقیمانده،  $P.V$  حجم آب منفذی و  $n$  تخلخل خاک می‌باشد.

شکل‌های ۴، ۵ و ۶ رابطه مقدار نمک‌های شسته شده اولیه با حجم آب منفذی و درصد نمک‌های اولیه باقیمانده را نشان می‌دهند.

باید به این نکته توجه کرد که اعتبار کاربرد این نمودارها در محدوده خاک منطقه مورد مطالعه، در مقادیر اولیه هدایت الکتریکی ۱۲/۵ تا ۶۶/۵ دسی زیمنس بر متر و درصد سدیم تبادل ۱۴/۱۲ تا ۴۱/۴۲ است. با استفاده از ارقام میانگین وزنی  $EC_e$  خاک حاصل از اجرای آزمون‌ها و با استفاده از روابط زیر مقادیر درصد نمک‌های اولیه شسته شده و درصد نمک‌های اولیه باقیمانده محاسبه شد.

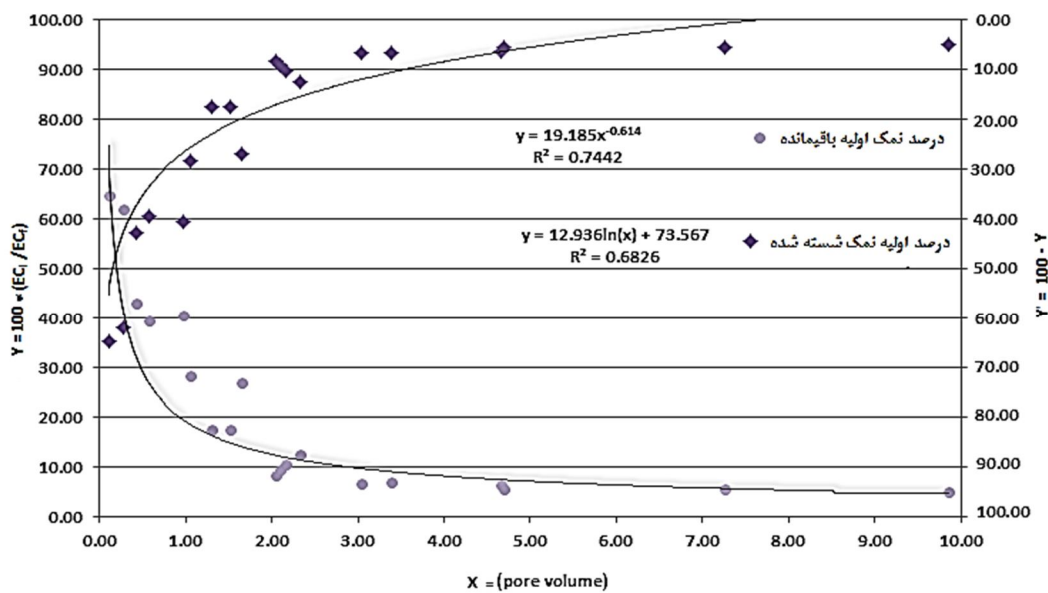
$$Y = \frac{EC_f}{EC_i} \times 100 \quad (12)$$



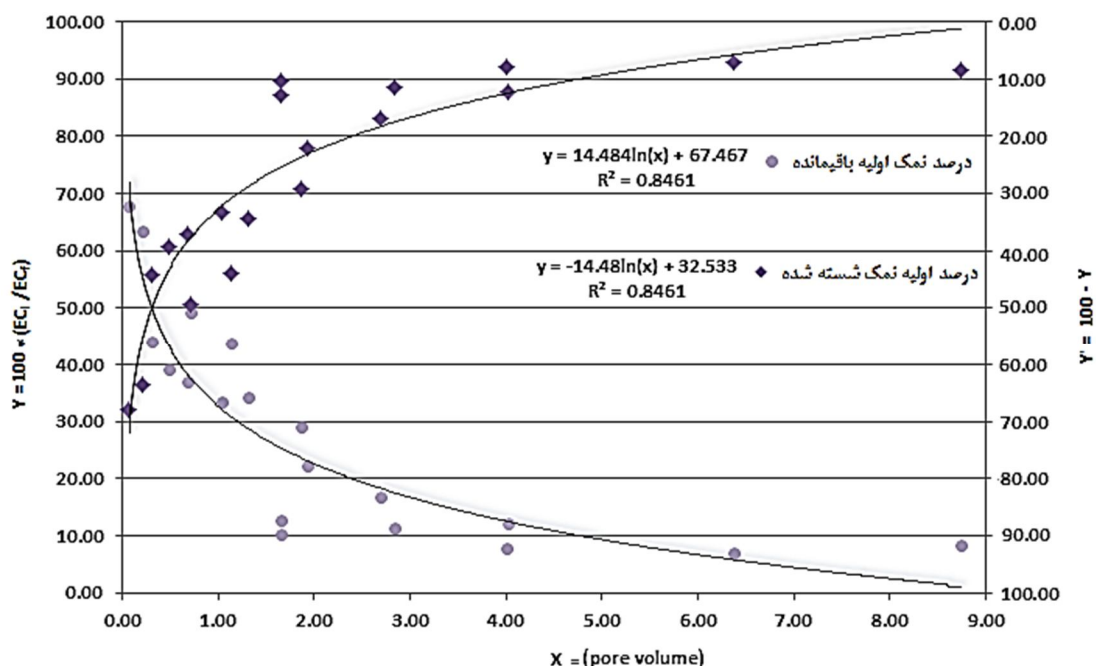
شکل ۴. تغییرات مقدار نمک‌های اولیه باقیمانده و شسته شده نسبت به تخلخل منفذی پس از آبیاری در سری خاک سابله

همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده، کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب در سری خاک کرخه موجب آبیاری ۹۳/۷۲، ۹۰/۱۸، ۸۰/۶۵، ۵۰/۳۲ و ۳۱/۸۹ درصد از نمک‌های اولیه لایه‌های خاک شده که این مقادیر برابر ۹/۸۶، ۴/۷۰، ۳/۰۳، ۲/۳۳ و ۱/۵۲ واحد آب منفذی برای آن لایه‌ها می‌باشند.

کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب در سری خاک سابله موجب آبیاری ۸۰/۶، ۷۰/۸۹، ۵۰/۳۲، ۳۱/۸۹ و ۲۱/۲۷ درصد نمک‌های اولیه اعماق مربوطه شده است که برابر با ۹/۵۴، ۲/۹۴، ۲/۱۴ و ۱/۱۶ واحد آب منفذی برای اعماق ذکر شده می‌باشد.



شکل ۵. تغییرات مقدار نمک‌های اولیه باقیمانده و شسته شده نسبت به تخلخل منفذی پس از آبیاری در سری خاک کرخه



شکل ۶. تغییرات درصد نمک‌های اولیه باقیمانده و شسته شده نسبت به تخلخل حجمی پس از آبیاری در سری خاک سلمان

دو واحد تخلخل حجمی حدود ۸۰٪ نمک‌ها شسته شوند. همچنین برخی پژوهشگران گزارش کرده‌اند که در یک خاک لوم شنی حدود ۷۵٪ نمک‌ها از یک واحد حجم منفذی انتقال می‌یابند (Khosla and Abrol, 1979).

در پژوهشی، van der Molen (۱۹۵۶) نشان داد که ۵۰٪ از نمک‌های کلروره محلول به ازای کاربرد یک واحد حجم منفذی از نیمرخ خاک شسته می‌شوند. همچنین برای انتقال ۹۸ درصد از کلریدها از عمق خاک نیاز به ۱۲۰ سانتی‌متر آب آبیاری می‌باشد که معادل ۳/۵ واحد تخلخل حجمی است (Talsma, 1966). در پژوهشی، اسدی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کرده‌اند که در سری عمیشیه واقع در جنوب خوزستان، در شرایطی که از ماده اصلاح کننده استفاده نشود، نزدیک به ۸۴٪ و در شرایطی که از پنج تن ماده اصلاح کننده سولفوریک غلیظ ۹۵٪ استفاده شود، حدود ۷۸٪ از نمک‌های اولیه شسته می‌شوند. همان‌گونه که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، بازده آبیاری در سری خاک کرخه نسبت به سری‌های سلمان و سابله بیشتر است. این اختلاف به ویژگی‌های فیزیکی خاک و توزیع منافذ خاک ارتباط دارد. در سری کرخه، بافت

بررسی شکل ۶ نشان می‌دهد که کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب در سری سلمان منجر به آبیاری ۹۱/۶۱، ۸۱/۰۸، ۶۴/۲۶ و ۵۹/۶۳ درصد از نمک‌های اولیه لایه‌های ۲۵ سانتی‌متری خاک شده است. این مقادیر به ترتیب برابر با ۸/۷۴، ۴/۰۲، ۲/۶۹، ۱/۹۲ و ۱/۱۳ واحد آب منفذی برای لایه‌های خاک می‌باشند.

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ می‌توان دریافت که در سری خاک سابله به ازای یک واحد حجم منفذی، نزدیک ۵۰٪ و به ازای دو واحد حجم منفذی حدود ۷۵٪ از نمک‌ها شسته شده‌اند. چنین روندی در خاک‌های سری کرخه نیز دیده می‌شود، به گونه‌ای که به ازای یک واحد حجم منفذی حدود ۷۵٪ و به ازای دو واحد حجم منفذی نزدیک به ۸۳٪ از نمک‌ها شسته شده‌اند. حال آنکه در سری سلمان، به ازای یک واحد تخلخل منفذی نزدیک به ۶۵٪ و به ازای دو واحد حجم منفذی حدود ۷۸٪ از نمک‌های اولیه شسته شده‌اند. نتایج بدست آمده در این پژوهش با یافته‌های برخی پژوهشگران همخوانی دارد. بر پایه نظریه Nielsen و Biggar (۱۹۶۱)، به ازای یک واحد حجم منفذی باید حدود ۵۰٪ و به ازای

خاک از سبک تا متوسط، در سری سابله از متوسط تا سنگین و در سری سلمان از سنگین تا بسیار سنگین است. در خاک‌های با بافت سنگین، به دلیل وقوع جریان ترجیحی، بخشی از آب از درون درز و شکاف‌ها بی آنکه مسیر تخلخل واقعی خاک را طی کنند به پایین نفوذ می‌کند، به همین دلیل، بازده آبشویی نسبت به خاک‌های با بافت متوسط و سبک کمتر است. عامل دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد این است که نفوذپذیری، بیشتر تحت تأثیر منافذ درشت و پایدار خاک است. وجود ساختمان‌های متراکم در خاک موجب می‌گردد که نفوذپذیری خاک بیشتر متأثر از فراوانی نسبی ذرات خاک باشد. بنابراین در خاک‌های سنگین بافت، قابلیت نفوذ آب به خاک کمتر است. همچنین تعداد و پیوستگی خلل و فرج درشت خاک بیشترین تأثیر را در میزان نفوذ آب به خاک دارند. چگونگی منافذ درشت خاک متأثر از نوع ساختمان خاک است. بنابراین، متغیرهایی مانند جرم ویژه ظاهری و تخلخل خاک به عنوان شاخص‌های بیانگر ساختمان خاک، می‌توانند در سرعت نفوذ آب به خاک مؤثر باشند. در این صورت، تأثیر منافذ درشت خاک در نفوذ آب به خاک چشمگیرتر می‌گردد. در این شرایط، اثر ویژگی‌هایی از خاک همچون نیروی موینگی که خود متأثر از فراوانی نسبی ذرات خاک می‌باشد، کاهش یافته و ویژگی‌های منافذ درشت (اندازه، آرایش و پیوستگی)، نفوذ آب به

خاک و در نتیجه آبشویی بهتر نمک‌ها از خاک‌ها را مهار می‌کند.

مقادیر آب آبشویی خالص برای خاک‌های منطقه مورد مطالعه برپایه رابطه ۱۱ در جدول ۵ ارائه شده‌اند. نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که کاهش یکباره مقادیر هدایت الکتریکی اولیه نیمرخ خاک تا حد ۴ دسی زیمنس بر متر (کلاس S<sub>1</sub>) و یا کمتر از آن (کلاس S<sub>0</sub>) به حجم قابل ملاحظه‌ای آب آبشویی خالص نیاز دارد. حال آنکه برای کاهش تدریجی مقادیر شوری اولیه خاک، به صورت آبشویی متناوب (گام به گام) به حجم کمتری آب آبشویی نیاز است. اگر هدایت الکتریکی اولیه نیمرخ خاک در حد ۴۶ دسی زیمنس بر متر و بنا باشد تا عمق ۱/۵ متری از سطح خاک به ۴ دسی زیمنس بر متر کاهش یابد، باید ۳۳۱۰۰ مترمکعب در هکتار آب آبشویی به کار رود. برای کاهش هدایت الکتریکی اولیه خاک از ۴۶ به ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر به ۳۱۷۰ مترمکعب آب آبشویی نیاز است. به همین ترتیب برای کاهش هدایت الکتریکی از ۳۲ به ۱۶، ۱۶ به ۸ و از ۸ به ۴ دسی‌زیمنس به ترتیب ۳۲۷۱، ۳۵۱۴ و ۴۲۳۷ مترمکعب آب آبشویی مورد نیاز است که نشان می‌دهد کم کردن شوری خاک در هدایت الکتریکی پایین، به آب آبشویی بیشتری نسبت به شوری‌های زیادتر نیاز دارد.

جدول ۵. مقادیر آب لازم برای کاهش شوری اولیه در اعماق مختلف نیمرخ خاک تا مقدار شوری نهایی برابر ۴ دسی زیمنس

اعماق مختلف خاک (cm)*				مقادیر شوری اولیه (dS/m)	اعماق مختلف خاک (cm)*				مقادیر شوری اولیه (dS/m)
۰-۱۵۰	۰-۱۰۰	۰-۵۰	۰-۲۵		۰-۱۵۰	۰-۱۰۰	۰-۵۰	۰-۲۵	
۱/۹۱	۱/۲۸	۰/۶۴	۰/۳۲	۲۸/۰۰	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۰۵	۶/۰۰
۲/۰۷	۱/۳۸	۰/۶۸	۰/۳۴	۳۰/۰۰	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۰۷	۸/۰۰
۲۰/۲۲	۱/۴۸	۰/۷۴	۰/۳۷	۳۲/۰۰	۰/۵۷	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۱۰	۱۰/۰۰
۲/۳۷	۱/۵۸	۰/۷۹	۰/۴۰	۳۴/۰۰	۰/۷۲	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۱۲	۱۲/۰۰
۲/۵۳	۱/۶۹	۰/۸۴	۰/۴۲	۳۶/۰۰	۰/۸۶	۰/۵۷	۰/۲۹	۰/۱۴	۱۴/۰۰
۱/۶۸	۱/۷۹	۰/۸۹	۰/۴۵	۳۸/۰۰	۱/۰۱	۰/۶۷	۰/۳۴	۰/۱۷	۱۶/۰۰
۲/۸۴	۱/۸۹	۰/۹۵	۰/۴۷	۴۰/۰۰	۱/۱۶	۰/۷۷	۰/۳۹	۰/۱۹	۱۸/۰۰
۲/۹۹	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۰	۴۲/۰۰	۱/۳۱	۰/۸۷	۰/۴۴	۰/۲۲	۲۰/۰۰
۳/۱۵	۲/۰۵	۱/۰۵	۰/۵۲	۴۴/۰۰	۱/۴۶	۰/۹۷	۰/۴۹	۰/۲۴	۲۲/۰۰
۳/۳۱	۲/۱۰	۱/۱۰	۰/۵۵	۴۶/۰۰	۱/۶۱	۱/۰۷	۰/۵۴	۰/۲۷	۲۴/۰۰
					۱/۷۶	۱/۱۷	۰/۵۹	۰/۳۱	۲۶/۰۰

کمتر از مدل نوین برآورد می‌کنند. مدل پذیرا و کاواچی (۱۹۸۱)، ریو (۱۹۵۷) مقدار آب آبتشویی خاک‌ها را کمی زیادتر از مدل نوین برآورد می‌کنند. مدل رجب‌زاده و همکاران (۲۰۰۹)، هافمن (۱۹۸۰) و لفلاز و شارما (۱۹۷۷) فاقد تناسب لازم برای برآورد آب مورد نیاز اصلاح خاک‌های منطقه مورد مطالعه در مقایسه با مدل نهایی بود. دلیل این عدم تناسب را می‌توان تفاوت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمون و روش اجرای آبتشویی ذکر کرد. نتایج مشابهی بوسیله پژوهشگران دیگر گزارش شده است (پذیرا، ۱۳۷۶؛ Pazira and Keshavarz, 1998).

به منظور تجزیه و تحلیل مدل شوری‌زدایی ارائه شده (رابطه ۹)، مقایسه‌ای بین مدل حاصل و برخی مدل‌های تجربی آبتشویی به منظور برآورد آب مورد نیاز برای آبتشویی نمک‌های محلول انجام شد که نتایج حاصل در جدول ۶ ارائه شده است. در این مقایسه، هدایت الکتریکی اولیه خاک تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری برابر با ۴۶ دسی‌زیمنس بر متر، هدایت الکتریکی نهایی خاک ۴ و میزان هدایت الکتریکی عصاره تعادلی ۱/۶۹ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مدل ورما و گوپتا (۱۹۸۹)، پذیرا و کشاورز (۱۹۹۸)، اسدی و همکاران (۲۰۱۳) و دیلمان (۱۹۶۳) مقدار آب آبتشویی خاک‌ها را

جدول ۶. مقایسه نتایج حاصل از کاربرد مدل‌های تجربی آبتشویی خاک‌ها

ردیف	مشخصات مدل تجربی	مقادیر آب مورد نیاز اصلاح خاک لایه‌های مختلف (سانتی متر)				میانگین هندسی آب مورد نیاز برای اصلاح خاک (متر)	رتبه تناسب کاربردی مدل	شکل ریاضی مدل
		۰-۲۵	۰-۵۰	۰-۱۰۰	۰-۱۵۰			
۱	ریو (۱۹۵۷)	۰/۶۱	۱/۲۲	۲/۴۵	۳/۶۸	۱/۶۱	۶	هدلولی
۲	دیلمان (۱۹۶۳)	۰/۴۵	۰/۹	۱/۸	۲/۶۹	۱/۱۸	۴	نمایی
۳	لفلاز و شارما (۱۹۸۰)	۰/۸۵	۱/۷۱	۳/۴۲	۵/۱۳	۲/۲۵	۸	هدلولی
۴	هافمن (۱۹۸۰)	۰/۹۶	۱/۹۲	۳/۸۴	۵/۷۵	۲/۵۲	۹	هدلولی
۵	ورما و گوپتا (۱۹۸۹)	۰/۳۵	۰/۷۰	۱/۳۹	۲/۰۹	۰/۹۲	۲	توانی
۶	پذیرا و کشاورز (۱۹۹۸)	۰/۳۹	۰/۷۸	۱/۵۶	۲/۳۳	۱/۰۲	۳	توانی
۷	پذیرا و کاواچی (۱۹۸۱)	۰/۶۵	۱/۳۰	۲/۶۱	۳/۹۱	۱/۷۲	۷	هدلولی
۸	رجب‌زاده و همکاران (۲۰۰۹)	۱/۹۳	۳/۸۶	۷/۷۳	۱۱/۵۹	۵/۰۸	۱۰	نمایی
۹	اسدی و همکاران (۲۰۱۳)	۰/۲۸	۰/۵۶	۱/۱۲	۱/۶۸	۰/۷۴	۱	لگاریتمی
۱۰	مدل نوین (۲۰۱۳)	۰/۵۵	۱/۱۰	۲/۲۰	۳/۳۱	۱/۴۵	۵	توانی

خاک‌ها، گرایش به سمت سدیمی شدن ملاحظه نگردید و این مهم بیانگر عدم ضرورت کاربرد مواد اصلاح کننده می‌باشد.

#### فهرست منابع

اسدی کپورچال، ص.، همایی، م. و پذیرا، ا. ۱۳۹۱. مدل‌سازی آب آبتشویی مورد نیاز برای بهسازی خاکهای شور. مجله حفاظت منابع آب و خاک، (۳) ۲: ۸۳-۶۵.

#### نتیجه‌گیری

بررسی درصد نمک‌های شسته شده از نیم‌رخ خاک در سری‌های خاک منطقه مورد مطالعه، نشان داد با توجه به کاربرد دو واحد حجم آب منفذی به عنوان آب آبتشویی در هر سه سری خاک منطقه مورد مطالعه، می‌تواند به دلیل تفاوت بافت خاک و تأثیر آن بر میزان شستشوی نمک‌های محلول باشد. به طوری که سبک شدن بافت خاک، باعث افزایش درصد شستشوی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌ها شده است و به دلیل وجود منابع طبیعی کلسیم در

- پذیرا، ا. ۱۳۷۶. بررسی و تعیین آب مورد نیاز آبخویی خاک‌های شور و سدیمی. مجموعه مقالات علمی و تخصصی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۷: ۱۷-۱.
- بی‌نام، ۱۳۸۱. دستورالعمل آزمایش‌های آبخویی خاک‌های شور و سدیمی در ایران. نشریه ۲۵۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- بی‌نام، ۱۳۸۵. راهنمای کاربرد مدل‌های تجربی و نظری آبخویی نمک‌های خاک‌های شور. نشریه ۳۵۹. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- پذیرا، ا. و م. همای، ۱۳۸۵. گزینه‌های نو و برنامه‌های جایگزین برای توسعه پایدار کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک. علوم کشاورزی، ۱: ۱-۱۷، تهران، ایران.
- جلالی، و.ر. و همای، م. ۱۳۸۹. مدل‌سازی اثر زمان اعمال تنش شوری محیط ریشه بر عملکرد گیاه کلزا. مجله به زراعی کشاورزی، ۱۲ (۱): ۲۹-۴۰.
- جلالی، و. ر.، همای، م. و میرنیا، س.خ. ۱۳۸۶ (الف). مدل‌سازی واکنش کلزا به شوری طی مراحل مختلف رشد رویشی. تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸ (۴): ۹۵-۱۱۲.
- جلالی، و. ر.، همای، م. خلاق میرنیا، و س. ۱۳۸۶ (ب). تأثیر سطوح مختلف شوری محیط رشد بر جوانه زنی و رشد گیاهچه کلزا. مجله علوم خاک و آب، ۲۱ (۲): ۲۰۹-۲۱۷.
- جلالی، و.ر.، همای، م. و میرنیا، س.خ. ۱۳۸۷. مدل‌سازی واکنش کلزا به شوری طی دوره رشد زایشی. مجله علوم و فنون کشاورزی، ۱۲ (۴۴): ۱۱۱-۱۲۲.
- حسینی، ی.، همای، م.، کریمیان، ن.ع. و سعادت، س. ۱۳۸۷. مدل‌سازی واکنش کلزا به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن. علوم و فنون کشاورزی، ۱۲ (۴۶): ۷۲۱-۷۳۵.
- سعادت، س.، همای، م. و لیاقت، ع. ۱۳۸۴. اثر شوری محلول خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سورگوم علوفه‌ای. علوم خاک و آب، ۱۹ (۲): ۲۴۳-۲۵۴.
- کیانی، ع.، میرلطیفی، م.، همای، م. و چراغی، ع.م. ۱۳۸۴ (الف). کارآیی مصرف آب گندم تحت شرایط شوری و کم آبی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۲۴ (۶): ۴۷-۶۴.
- کیانی، ع.، میرلطیفی، م.، همای، م. و چراغی، ع.م. ۱۳۸۴ (ب). تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۲۵ (۶): ۱-۱۴.
- کیانی، ع.، میرلطیفی، م.، همای، م. و چراغی، ع.م. ۱۳۸۳. تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و شوری بر عملکرد گندم در منطقه گرگان. مجله علوم کشاورزی، ۱۱ (۱): ۷۹-۸۹.
- کیانی، ع.، میرلطیفی، م. و همای، م. ۱۳۸۲. بررسی تولید گندم در شرایط شوری و کم آبی. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۶۳-۱۷۸.
- کیانی، ع.، همای، م. و میرلطیفی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم آبی. مجله علوم خاک و آب، ۲۰ (۱): ۷۳-۸۳.
- همای، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره نشر ۵۸، ۹۷ صفحه.
- Asadi Kapourchal, S., Homae, M. and Pazira, E. 2011. Desalination model for large scale application. International Journal of Agricultural Science and Research, (IJASR). 1(2): 25-32.
- Asadi Kapourchal, S., Homae, M. and Pazira, E. 2013. A Parametric Desalination Model for Large Scale Saline Soil Reclamation. Journal of Basic and Applied Scientific research, 3(3): 774-783.
- Burt, C.M. and Isabel, B. 2005. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation. American Society of Agriculture Engineers, 12: 14-203.
- Ben-Gal, A., Ityel, E., Dudley, L., Cohen, Sh., Yermiyahu, U., Presnov, E., Zigmond, L. and Shani, U. 2008. Effect of irrigation water salinity on transpiration and on leaching requirements: A case study for bell peppers. Agriculture, 95: 587-597.
- Corwin, D.L., Rhoades, J.D. and Simuner, J. 2007. Leaching requirement for soil salinity control: steady-state versus transient models. Agriculture Water Management, 90: 165-180.
- Cote, C.M., Bristow, K.L. and Rose, P.J. 2000. Increasing the efficiency of solute leaching: impacts of flow interruption with drainage of the "preferential flow paths". Journal of Contaminant Hydrology, 43: 191-209.
- Dieleman, P.J. 1963. Reclamation of salt affected soils in Iraq. Veenman, Wageningen, 175 P.
- 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.
- Gardner, W.R. and Fireman, M. 1958. Laboratory studies of evaporation from soil columns in the presence of a water table. Soil, 5: 244-249.

- spatial statistical models to the identification of soil salinity: A case study from Garmsar plain, Iran. *Environ Sci* 8(1):59-74.
- Pazira, E. and Kawachi, T. 1981. Studies on appropriate depth of leaching water, Iran. A case study. *Journal of Integrated Agriculture Water Use and Freshening Reservoirs*, Kyoto University Japan, 6: 39-49.
- Pazira, E. and Keshavarz, A. 1998. Studies on appropriate depth of leaching water, International Workshop on the Use of Saline and Brackish-Water for Irrigation, Indonesia, pp: 328-338.
- Pazira, E. and Homae, M. 2010. Salt leaching efficiency of subsurface drainage systems at presence of diffusing saline water table boundary: a case study in Khuzestan plains, Iran. *Proceedings of International of the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR)*, Quebec City, Canada, pp. 1-15.
- Rao, K.V.G.K. and Leeds-Harrison, P.B. 1991. Desalinization with subsurface drainage. *Agriculture Water Management*, 19: 303-311.
- Rajabzadeh, F., Pazira, E., Mahdian, M.H., Mahmoodi, S.H. and Heidarizadeh, M. 2009. Leaching saline and sodic soils along with reclamation-rotation program in the mid-part of Khuzestan, Iran. *Journal of Applied Sciences*, 22(9): 4020-4025.
- Reeve, R.C. 1957. The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. *Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage, Transactions*, 5: 10.175-10.187.
- Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, Agricultural Handbook No. 60, USDA, Washington, D.C.
- Talsma, T. 1966. Leaching of tile-drained saline soils. *Australian Journal of Soil Research*, 5: 37-46.
- van der Molen, W.H. 1956. Desalinization of saline soils as a column process. *Soil Science*, 81: 19-27.
- Verma, S.K., and Gupta, R.K. 1989. Leaching of saline clay soil under two modes of water application. *Journal Ind Society Soil Science*, 37: 803-809.
- Gardner, W.R. and Brooks, R.H. 1957. A descriptive theory of leaching. *Soil Science*, 83: 295-304.
- Gupta, R.K. 1992. Leaching of salt affected Soils. *Technical bulletin No.17*, CSSRI, Kernel, India pp 89.
- 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.
- Homae, M., Dirksen, C. and Feddes, R.A. 2002a. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agricultural Water Management*, 57: 89-109.
- Homae, M., Dirksen, C. and Feddes, R.A. 2002b. Simulation of root water uptake. II. Nonuniform transient water stress using different reduction functions. *Agricultural Water Management*, 57(2): 111-126.
- Homae, M., Feddes, R.A. and Dirksen, C. 2002c. Simulation of root water uptake. III. non-uniform transient combined salinity and water stress. *Agricultural Water Management*, 57: 127-144.
- Homae, M., Feddes, R.A. and Dirksen, C. 2002d. A macroscopic water extraction model for non-uniform transient salinity and water stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1764-1772.
- Homae, M., and Schmidhalter, U. 2008. Water integration by plants root under non-uniform soil Salinity. *Irrigation Science*, 27: 83-95.
- Leffelaar, P.A. and Sharma, P. 1977. Leaching of a highly saline-sodic soil. *Journal of Hydrology*, 32: 203-218.
- Loáiciga, H.A. and Allison, H. 2007. Ponding analysis with green-and-ampt infiltration. *Journal of Hydrology Engineering*, 12: 109-112.
- Mohsenifar, K., Pazira, E. and Najafi, P. 2006. Evaluation different type of leaching models in two pilots of South East Khuzestan province. *Journal of Research in Agriculture Science*, 2 (1): 73-92.
- Nielsen, D.R. and Biggar, J.W. 1961. Miscible displacement in soils. I. Experimental information. *Soil Science Society of America Proceeding*, 215: 1-5.
- Norozi, A.A. M. Homae and A. Farshad. 2012. Integrated application of remote sensing and





ISSN 2251-7480

## A practical model for reclamation of saline and sodic soils

Maryam Mohamadzadeh<sup>1\*</sup>, Mehdi Homae<sup>2</sup> and Ebrahim Pazira<sup>3</sup>

1\*) Ph.D., Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Corresponding author email: [maryam\\_mohamadzadeh@yahoo.com](mailto:maryam_mohamadzadeh@yahoo.com)

2) Professor, Department of Soil Science, Tarbiat Modares University, Tehran 14115-336; Iran

3) Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 15-12-2012

Accepted: 20-06-2013

### Abstract

Proper management of saline and sodic soils is essential for optimal conservation of soil and water resources. Accumulation of soluble salts within the root zone is one of the major problems in arid and semi-arid regions. To overcome this problem, leaching of accumulated salts from such soils is necessary. The most important task in leaching practices is assessment of water quantity required for leaching of saline and saline-sodic soils. Therefore, reliable estimation of the required leaching water quantity is vital for reducing soil salinity to a desirable level. The objectives of this study were to introduce an empirical model to account for reclamation water and to compare the obtained results with some available models. Consequently, a large scale field experiment was conducted in jofeir region at south part of west Khuzestan plains, covering an area of 21285 ha with S<sub>3</sub>A<sub>2</sub> salinity-sodicity classes. The intermittent ponding experiment was conducted with six double ring infiltrometers in a circular array. All experiments were accomplished by applying 100 cm of water in four-25 cm intervals. The leaching water was supplied from Karun rive. Four mathematical models were applied to the collected experimental data to derive a suitable empirical model. The results indicated that the proposed power model with maximum correlation coefficient of 0.83 and minimum standard error of 0.44 can provide reasonable estimates for leaching process compares to the previously proposed models. The results indicated that the empirical relations given by Rajabzadeh (2009), Hoffman (1980) and Laffelar and Sharma (1977) can not resemble the field conditions. However, the empirical relationships introduced by Pazira and Kawachi (1981) and Reeve (1957) overestimate the depth of reclamation water. The empirical models of Pazira and Keshavarz (1989), Asadi *et al.*, (2013) and Dieleman (1963) underestimated the depth of required reclamation water compares to the newly proposed model.

**Keywords:** desalinization curve; saline-sodic soils; salt leaching; soil reclamation