



## کاربرد مدل‌های شوری‌زدایی به منظور تدوین برنامه تناوب زراعی خاک‌های شور و سدیمی (مطالعه

### موردی منطقه رامهرمز)

صفورا اسدی کپورچال<sup>۱\*</sup> و مهدی همایی<sup>۲</sup>

(<sup>۱\*</sup>) استادیار؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده علوم کشاورزی؛ دانشگاه گیلان؛ رشت؛ ایران

\*نویسنده مسئول، ایمیل: [safoorasadi@guilan.ac.ir](mailto:safoorasadi@guilan.ac.ir)

(<sup>۲</sup>) استاد؛ گروه آبیاری و زهکشی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۲۳

#### چکیده

شوری خاک یکی از چالش‌های مهم کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. تجمع نمک‌ها در ناحیه رشد ریشه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله فشار اسمزی، نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی تأثیر گذاشته و در نتیجه آن رشد و نمو بیش‌تر گیاهان زراعی و باغی یا مختل می‌شود و یا به‌طور کامل متوقف می‌گردد. هدف از پژوهش حاضر بررسی کاربرد مدل‌های شوری‌زدایی به‌منظور ارائه برنامه تناوب زراعی اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و سدیمی است. بدین منظور آزمایشی با دو تیمار و سه تکرار در اراضی به مساحت ۴۵۰۰۰ هکتار واقع در استان خوزستان که کلاس شوری و سدیمی بودن آن در کلاس  $S_4A_3$  قرار داشت انجام شد. در تیمار نخست از هیچ‌گونه ماده اصلاح‌کننده استفاده نگردید و فقط با کاربرد یک متر عمق آب آیشویی در چهار تناوب ۰/۲۵ متری اجرا شد. لیکن در تیمار دوم، گچ با درجه خلوص ۷۸٪ به اندازه ده تن در هکتار استفاده و سپس عملیات آیشویی به روش غرقاب متناوب و یک متر عمق آب آیشویی انجام گردید. نمونه‌های خاک پیش، حین و پس از کاربرد هر تناوب آبیاری از اعماق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵، ۷۵-۱۰۰، ۱۰۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۵۰ سانتی‌متری برداشت و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نظر بر روی آن‌ها اعمال شد. نتایج نشان داد که از میان مدل‌های مورد بررسی، مدل لگاریتمی از کارایی بهتری برای تخمین مقدار آب مورد نیاز برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی برخوردار است. بر اساس مدل به‌دست آمده، مقدار خالص آب لازم برای کاهش مقدار شوری اولیه خاک محاسبه و در نهایت برای بهسازی خاک‌های شور و سدیمی، برنامه تناوب زراعی اصلاحی اراضی در دو گزینه ارائه گردید. گزینه نخست با آیشویی مقدماتی و کشت جو در استمرار آیشویی در اولویت بود و گزینه دوم با آیشویی مقدماتی و کشت یونجه در استمرار آیشویی در اولویت بعدی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گنجاندن یک برنامه‌ی تناوب زراعی به همراه آب آیشویی، ضمن آیشویی مؤثر نمک‌های محلول از نمیرخ خاک، موجب صرفه‌جویی قابل توجه در میزان آب مصرفی می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** آیشویی؛ بهسازی خاک؛ خاک‌های شور و سدیمی؛ تناوب زراعی

#### مقدمه

کشور جهان تحت تأثیر قرار داده است. تخریب اراضی طی مراحل مختلف فیزیکی و شیمیایی رخ داده که در این میان شور شدن خاک‌ها یکی از انواع گسترده و بارز این مشکل است (Epstein et al., 1980). شوری خاک عبارت از تجمع نمک در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک بوده که تراکم این نمک‌های محلول به‌صورت هدایت الکتریکی قابل اندازه‌گیری است. شوری از فاکتورهای محدودکننده مهم برای محصولات کشاورزی بوده و در مناطق خشک و نیمه‌خشک، در اثر آیشویی

یکی از عمده‌ترین چالش‌های پیش‌روی انسان تأمین غذا و تضمین امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش در قرن بیست و یکم می‌باشد. تخریب اراضی از دیگر عوامل مهم در کاهش کیفیت خاک و کاهش تولید محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود که بر امنیت غذایی و زیست بوم اثر منفی می‌گذارد، آن‌گونه‌که زندگی جمعیتی نزدیک به یک میلیارد نفر را در بیش از یکصد

پژوهش‌های پرشماری در ارتباط با جنبه‌های مختلف شوری توسط پژوهش‌گران مختلف انجام شده، لیکن بیشتر این پژوهش‌ها به واکنش گیاهان به شوری و نه آبشویی آنها مربوط می‌شود (Corwin et al., 2007, BenGal et al., 2008, Cote et al., 2000, Chen et al., 2010, Sharma and Minhas, 2005; Hendrikus, 2008; Esmaili et al., 2010; Barnard et al., 2010; حسینی و همکاران، ۱۳۸۷). در بیشتر پژوهش‌های مرتبط با شوری، آستانه تحمل گیاه طی کل دوره رشد یکسان فرض شده و تنها یک آستانه کاهش برای هر گیاه ارائه شده است. جلالی و همایی (۱۳۸۹) بررسی کمی پاسخ گیاه کلزا به تنش شوری را طی دو آزمایش جداگانه (تحت تنش شوری از ابتدا و تحت تنش در مرحله آخر رشد) انجام و مقادیر عملکرد نسبی دانه در شوری‌های مختلف با استفاده از مدل‌های Mass and Hoffman (۱۹۷۷)، Van Direksen and Hoffman (۱۹۸۴)، همکاران (۱۹۹۳) و Homaei و همکاران (۲۰۰۲a) را برآورد کرده و پارامترهای مورد نظر به دست آمد. نتایج نشان داد که مدل Homaei و همکاران (۲۰۰۲a) از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. در پژوهشی دیگر که با هدف بررسی نقش شوری محلول خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سورگوم علوفه‌ای در خاک‌های شور طبیعی انجام شد، نتایج نشان داد که جوانه‌زنی بذرها در خاک تا شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر با موفقیت انجام و تا شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داشته و در شوری بیشتر از ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر جوانه زنی بذرها در خاک متوقف می‌شود (سعادت و همکاران، ۱۳۸۴). در مناطقی که دارای خاک‌های شور می‌باشند، به‌طور معمول کم آبی نیز وجود دارد (کیانی و همکاران، ۱۳۸۴، ۱۳۸۵). به همین دلیل پژوهشگران در نیم قرن گذشته تلاش کرده‌اند تا برهمکنش شوری و کم آبی را به صورت کمی مورد مطالعه قرار دهند (Homaei et al., 2002 a, b, c, d; Saadat and Homaei, 2015). در اغلب این مطالعات تلاش شده تا نتایج کار به صورت

ناکافی و تجمع بیش از حد نمک‌ها در خاک و همچنین، کاربرد آب‌های زیرزمینی غنی از کربنات و بی‌کربنات سدیم به‌منظور آبیاری، واکنش (pH) خاک افزایش یافته است (بی‌نام، ۱۳۸۱؛ همایی، ۱۳۸۱). شوری و سدیمی شدن خاک از خطرات زیست‌محیطی جدی در سراسر جهان بوده و بیش از ۱۰۰۰ میلیون هکتار از اراضی (حدود هفت درصد سطح قاره‌های کره زمین) تحت تأثیر درجات مختلف شوری می‌باشند (Szabolcs, 1994). نزدیک به ۷۷ میلیون هکتار از اراضی نیز افزون بر شور شدن طبیعی خاک‌ها در اثر فعالیت‌های انسانی شور شده است که ۵۸ درصد آن ناشی از آبیاری بوده است. به طور میانگین، ۲۰ درصد اراضی آبی جهان با مشکل شوری مواجه هستند که افزایش این مقدار در کشورهایی مانند ایران و مصر تا ۳۰ درصد نیز گزارش شده است (Ghassemi et al., 1995). با توجه به این‌که کشور ما در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته و خشکی جزء فطرت ذاتی آن است و اراضی شور و سدیمی بخش گسترده‌ای از اراضی کشور را در بر می‌گیرد، از این نظر حفاظت و مدیریت بهینه منابع آب و خاک از مهم‌ترین عوامل حفظ کیفیت خاک‌ها هنگام وقوع خشکسالی است (اسدی کپورچال و همکاران، ۱۳۹۱).

از مهم‌ترین دلایل شوری خاک در ایران می‌توان به بارندگی کم، زیاد بودن تبخیر از سطح خاک، پستی و بلندی‌های سطح زمین، کیفیت نامناسب آب آبیاری و نوع سنگ‌های مادری اشاره کرد (Pazira and Homaei, 2010). جمعاً ۳۲ میلیون هکتار (حدود ۲۰ درصد) خاک‌های ایران به درجات متفاوت با مشکلات شوری، سدیمی بودن، زهداری و حالت ماندابی مواجه بوده که از این مقدار، هفت میلیون هکتار باتلاق‌های شور کویر لوت و کویر نمک می‌باشند (بی‌نام، ۱۳۸۷؛ بنایی، ۱۳۸۰). با توجه به این‌که فرآیندهای شور و سدیمی شدن خاک‌ها پدیده‌ای پویا و دائم در حال تغییر است ارقام مذکور طی سال‌ها دست‌خوش تغییر شده و ثابت نمی‌ماند. هرچند

تکرار دوم ۵/۰ تن ماده اصلاح کننده اسید سولفوریک غلیظ ۹۵٪ به کار رفته و سپس ادامه آبخشوی نمک‌های محلول خاک با استفاده از آب آبیاری انجام گردید. نتایج نشان داد که مدل لگاریتمی در مقایسه با سایر مدل‌های رایج با کاربرد یک متر عمق آب آبخشوی در چهار تناوب ۰/۲۵ متری به عنوان مدل برتر تشخیص داده شد.

امروزه با توجه به کمبود منابع آب برای استفاده بهینه از منابع خاک و آب و نیز تضمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد، بهسازی خاک‌های شور و ارائه یک برنامه تناوب زراعی مناسب بسیار ضروری است. در این پژوهش مدلی نوین و کاربردی به منظور پیشنهاد برنامه تناوب زراعی بهسازی خاک‌های شور و سدیمی دشت رامهرمز مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه به وسعت ۴۵۰۰۰ هکتار بین ۴۹°۲۵' و ۴۹°۴۳' طول شرقی و ۳۱°۰۵' تا ۳۱°۲۲' عرض شمالی قرار گرفته و شامل اراضی واقع در سواحل چپ و راست رودخانه اله رامهرمز در استان خوزستان می‌باشد. شکل ۱ شمایی از موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. منطقه مورد مطالعه جزء مناطق نیمه بیابانی شدید تا مدیترانه‌ای گرم بوده و بخش اعظم ریزش‌های آسمانی طی ماه‌های آبان تا فروردین نازل می‌شود. میانگین حداقل و حداکثر دمای سالانه به ترتیب ۲/۷ و ۴۸/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۳۱۵ میلی‌متر و مقدار تبخیر اندازه‌گیری شده از تشتک تبخیر، ۲۷۱۴ میلی‌متر در سال است. رژیم حرارتی و رطوبتی خاک منطقه مورد مطالعه به ترتیب hyperthermic و Ustic and Aquic بود. خاک‌های دشت رامهرمز آهکی بوده و حاوی مقدار زیادی کربنات کلسیم می‌باشد. به طوری که کربنات کلسیم موجود در خاک تأثیری به سزا در رابطه با رشد گیاه و راندمان تولید محصول داشته و این تأثیر از نظر فیزیکی در رابطه با آب و خاک و از نظر شیمیایی در رابطه با جذب عناصر

مدل‌های تعیینی (Deterministic) ارائه گردد (Homae and Feddes, 1999; 2001; 2002). اهمیت این مدل‌ها از آنجا دو چندان می‌شود که وجود هرگونه کم آبی افزون بر این که به طور مستقیم عملکرد محصولات را کاهش می‌دهد، باعث به هم خوردن تعادل عناصر غذایی شده و جذب آنها را توسط گیاه مختل می‌سازد (Homae and Schmidhalter, 2008; Jalali et al., 2017). پژوهش‌های انجام شده پیرامون برهمکنش شوری و عناصر غذایی هرچند پر شمار نیست، لیکن تحقیقات منتشر شده نشان می‌دهند که جذب عناصر غذایی در خاک‌های شور به شدت به مقدار شوری و نوع عناصر غذایی بستگی دارد (جلالی و همکاران، ۱۳۸۶؛ جلالی و همایی، ۱۳۸۹).

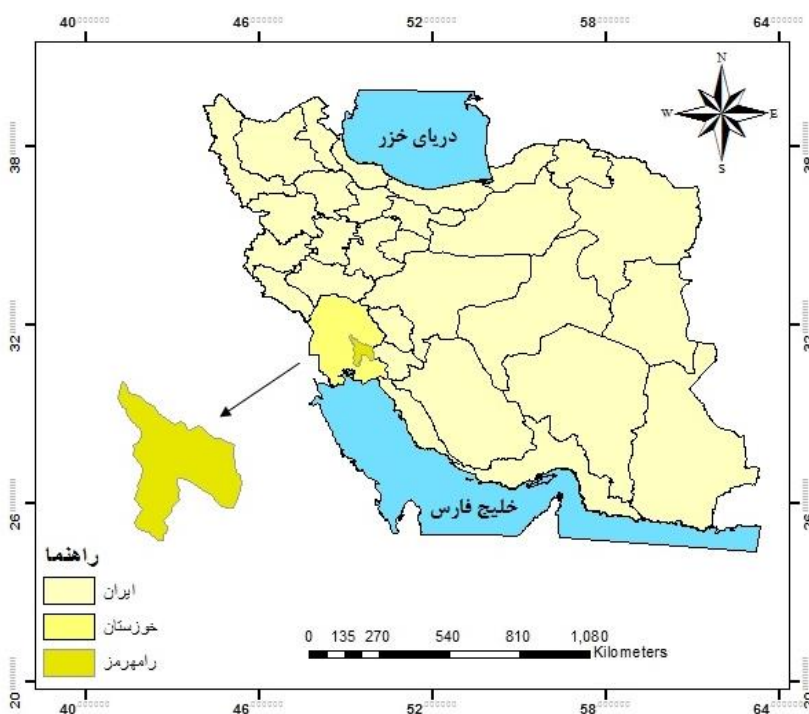
در مورد اصلاح خاک‌های شور، مدل‌های ریاضی در مقیاس‌های آزمایشگاهی موفقیت آمیز بوده‌اند، لیکن تعمیم نتایج به مقیاس‌های بزرگ‌تر دشوار بوده و بنابراین همچنان انجام آزمایش‌های صحرایی ضروری می‌باشد (Jurinak, 1981). از نظر ریاضی، مدل‌های تجربی موجود برای آبخشوی یا به صورت توابع هذلولی مانند (Reeve (1957), Leffelaar and Sharma (1977), Hoffman (1980), Pazira and Kawachi (1981) یا توانی (Pazira and Verma and Gupta (1989), Keshavars (1998) یا نمایی (Dieleman (1963) می‌باشند. در پژوهشی محمدزاده و همکاران (۱۳۹۲) در سه سری از خاک‌های منطقه جفیر واقع در جنوب جلگه خوزستان مدل توانی را برای تخمین مقدار آب مورد نیاز برای آبخشوی ارائه کردند. در پژوهشی دیگر اسدی کپورچال و همکاران (۱۳۹۱) به منظور ارائه مدلی تجربی برای شوری‌زدایی خاک‌های شور آزمایشی را با دو تیمار در زمینی به مساحت ۳۲۱۶ هکتار در سری عمیشیه واقع در استان خوزستان که از نظر شوری و سدیمی بودن پیش از آبخشوی در کلاس  $S_4A_3$  قرار داشت اجرا کردند. در تکرار اول از هیچ گونه ماده اصلاح کننده خاک استفاده نگردید و فقط با کاربرد ۱/۰ متر عمق آب آبخشوی در چهار تناوب ۰/۲۵ متری اجرا شد. لیکن در

مقدماتی نقشه‌های مطالعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی به‌ویژه نقشه‌های شوری و سدیمی بودن خاک، تعداد نقاط مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های آبشویی انتخاب و پس از مشخص کردن محل آزمایش‌ها بر روی نقشه‌های موجود، آزمایش‌های مربوطه انجام شد. آزمون‌های اصلاح خاک و اراضی برای بررسی امکان شوری و سدیمی زدایی خاک‌ها و اراضی با دو تیمار کاربرد آب آبشویی به تنهایی و کاربرد ماده اصلاح کننده گچ در زمینی به مساحت ۱۳۶۵۰ هکتار که بالغ بر ۳۰/۳۳ درصد از کل محدوده مورد مطالعه بوده و از نظر شوری و سدیمی بودن پیش از آبشویی در کلاس  $S_4A_3$  (دارای مشکل شوری فوق العاده زیاد و سدیمی بودن زیاد) قرار داشت، در سه تکرار انجام گردید.

در تیمار اول از هیچ گونه ماده اصلاح کننده خاک استفاده نگردید و فقط با کاربرد ۱/۰ متر عمق آب آبشویی در چهار تناوب ۰/۲۵ متری اجرا شد.

غذایی پرمصرف حائز اهمیت است. در بخش وسیعی از اراضی دشت رامهرمز وجود درجات مختلف شوری و سدیمی بودن از عوامل مهم محدودکننده خاک‌ها به شمار می‌رود. به طوری که کلاس شوری و سدیمی بودن اراضی در بخش وسیعی از منطقه پیش از آبشویی  $S_4A_3$  بوده است. شرایط آب و هوایی و تبخیر زیاد، کمبود پوشش گیاهی، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و عدم وجود زهکشی، سنگینی بافت خاک و وضعیت نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک و وجود لایه نفوذ ناپذیر یا با نفوذپذیری کم در اعماق بین ۳ تا ۶ متر که سبب زهدار شدن اراضی و آهسته شدن حرکت آب در خاک می‌شود از عوامل مهم شوری و سدیمی بودن محدوده مورد مطالعه می‌باشند.

به منظور بررسی و مقایسه نتایج حاصل از کاربرد آب آبشویی با و بدون استفاده از ماده اصلاح کننده گچ در چگونگی تغییرات کیفی خاک و کاربرد مدل تجربی شوری زدایی به منظور ارائه برنامه تناوب زراعی اصلاح و بهسازی فیزیکی-شیمیایی خاک‌ها، ابتدا با بررسی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. برخی ویژگی‌های خاک‌های منطقه مورد آزمایش

سرعت نفوذ پایه (cm/h) ارضی	عمق لایه غیر قابل نفوذ (m)	هدایت هیدرولیکی (m/day)	عمق سطح ایستایی (m)	کلاس شوری و سدیمی بودن اراضی پیش از اجرای آزمون	مساحت (ha)	$\rho_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\rho_p$ (gr/cm <sup>3</sup> )	FC (%)	PWP (%)	بافت خاک	سری خاک
۲۵/۸۳	۳-۶	۰/۶۴	>۲/۵	S <sub>4</sub> A <sub>3</sub>	۷۷۷۵	۱/۳۱	۲/۷۹	۳۲/۹۲	۱۲/۰۱	SiCL- CL	جنوشی
۲۷/۹۲	۳-۶	۰/۶۹	>۲/۵	S <sub>4</sub> A <sub>3</sub>	۲۴۷۵	۱/۳۰	۲/۸۹	۳۰/۲۹	۱۱/۸۷	SiCL- CL	مرادیگی

نرم افزارهای SPSS و CurveExpert 1.3 ویرایش 16.0 انجام و چهار مدل تجربی (توانی، نمایی، معکوس و لگاریتمی) به رقم‌های حاصل از اجرای آزمایش برآزش داده شد.

به منظور ارزیابی دقت، اعتبار و کارایی مدل پیشنهادی، از آماره‌های ME، RMSE، CD، EF و CRM استفاده گردید (Homaei et al., 2002a; Zarei et al., 2010).

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

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

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (5)$$

که در آن:  $P_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده،  $n$  تعداد نمونه‌ها و  $\bar{O}$  میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. حد پایینی ME، RMSE و CD صفر و بیشترین مقدار EF و  $R^2$  یک است. EF و CRM می‌توانند منفی باشند. مقدار ME نشان دهنده ناکارآمدی مدل است، درحالی‌که مقدار RMSE نشان دهنده این است که مدل به چه میزان بیشتر یا کمتر از واقعیت، برآورد می‌کند. CD، نشان دهنده نسبت پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده است. EF، مقادیر برآورد شده را با میانگین مقادیر اندازه گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF، بیانگر این است که میانگین مقادیر اندازه گیری شده، برآوردی بهتر از مقادیر برآورد شده به دست

لیکن در تیمار دوم، با توجه به آهکی بودن خاک‌های مورد مطالعه برای انجام عملیات اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و سدیمی، از ماده اصلاح‌کننده گچ با درجه خلوص ۷۸٪ به میزان ده تن خالص در هکتار استفاده و سپس آبشویی نمک‌های محلول با کاربرد آب آبشویی و به روش غرقاب متناوب و عمق آب کاربردی ۱۰۰ سانتیمتر (۴ تناوب ۰/۲۵ متری) انجام گردید. کیفیت آب مورد مصرف بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک کشور ایالات متحده آمریکا (دیاگرام ویلکوکس) در کلاس C<sub>4</sub>S<sub>2</sub> (خطرات شوری خیلی زیاد و گزند قلیائیت متوسط) قرار داشت. موقعیت نقاط انتخابی، سری خاک، کلاس شوری و سدیمی بودن و برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد آزمون در جدول ۱ ارائه شده است.

برای دستیابی به مقادیر شوری تعادلی ( $EC_{eq}$ ) پس از نفوذ ۱۰۰ سانتی‌متر آب به خاک، از عمق ۵-۰ سانتی‌متری، نمونه خاک (در سه تکرار) تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید.

در آزمایش‌های مربوط به بررسی امکان شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌های مورد آزمون با کاربرد آب آبشویی (بدون کاربرد ماده اصلاح‌کننده) و کاربرد ماده اصلاح‌کننده گچ، ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک‌ها (شوری) مربوط به پیش، حین و پس از آبشویی استخراج و میانگین‌های مربوط به هر تناوب و عمق محاسبه گردید. تحلیل آماری و ارایه مدل مناسب برای منحنی شوری‌زدایی خاک‌های مورد آزمون با استفاده از

پیش، حین و پس از آبخوئی تعیین و میانگین وزنی آنها برای اعماق ۰-۲۵، ۰-۵۰، ۰-۷۵، ۰-۱۰۰، ۰-۱۲۵، ۰-۱۵۰ سانتی متری به دست آمد.

بر اساس مقادیر میانگین وزنی شوری هر تیمار، رقم‌های مورد نیاز برای تهیه منحنی شوری زدایی خاک‌های مورد آزمایش تهیه که نتایج آن در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه گردیده است. کمیت  $D_{lw}$  در جدول‌های مذکور نشان‌دهنده‌ی مقدار آبی است که پس از تأمین کسر رطوبت خاک لایه‌ی مورد نظر به صورت ثقلی از آن لایه‌ی خاک خارج می‌شود. همچنین، دلیل کم کردن شوری تعادلی ( $EC_{eq}$ ) از صورت و مخرج کسر مربوط به  $Y$  آن است که نتایج حاصل از عوامل خارجی مؤثر مانند میزان تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاک، کیفیت آب آبخوئی و شرایط اجرای آزمایش مستقل شود.

میانگین مقدار شوری تعادلی پس از فرآیند آبخوئی به‌طور متوسط  $۲/۸۰$  و  $۶/۴۰$  دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برای تیمار اول و دوم به دست آمد.

می‌دهد. CRM، شاخصی برای سنجش تمایل مدل به برآورد بیشتر یا کمتر از واقعیت است. CRM منفی بیانگر برآوردی بیشتر از واقعیت است. اگر همه داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده یکسان باشند، آماره‌ها به صورت زیر می‌باشند:

$$EF=1; CRM=0; ME=0; RMSE=0; CD=1$$

نظر به این‌که بخشی از منطقه مورد مطالعه برای کشت جودر نظر گرفته شده بود و تاریخ کشت و برداشت این گیاه به ترتیب اواسط آذر ماه و اواسط اردیبهشت ماه می‌باشد، به‌منظور بهسازی خاک‌های شور و سدیمی، پیشنهاد‌های مربوط به برنامه تناوب زراعی تحت دو گزینه ارائه گردید. در گزینه نخست نقش آبخوئی مقدماتی و کشت جو و در گزینه دوم آبخوئی مقدماتی به همراه زراعت یونجه، در شستشوی نمک‌ها از نیمرخ خاک بررسی شد.

### نتایج و بحث

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ( $EC_e$ ) مربوط به

جدول ۲. نسبت‌های محاسباتی مربوط به شوری زدایی خاک‌های مورد آزمون (تیمار اول)

عمق خاک (cm)	$(X, Y)$ عمق خالص آب آبخوئی و نسبت‌های محاسباتی مربوط به آن				
۰-۲۵	$D_{lw}$ (cm)	۲۱/۲۳	۴۶/۲۳	۷۱/۲۳	۹۶/۲۳
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۸۵	۱/۸۵	۲/۸۵	۳/۸۵
	$Y=EC_r-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۶۸	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۱۰
۰-۵۰	$D_{lw}$ (cm)	۱۷/۶۶	۴۲/۶۶	۶۷/۶۶	۹۲/۶۶
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۳۵	۰/۸۵	۱/۳۵	۱/۸۵
	$Y=EC_r-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۷۰	۰/۲۱	۰/۱۰	۰/۱۰
۰-۷۵	$D_{lw}$ (cm)	۱۶/۱۰	۴۱/۱۰	۶۶/۱۰	۹۱/۱۰
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۲۱	۰/۵۵	۰/۸۸	۱/۲۱
	$Y=EC_r-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۷۳	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۱۶
۰-۱۰۰	$D_{lw}$ (cm)	۱۴/۶۳	۳۹/۶۳	۶۴/۶۳	۸۹/۶۳
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۱۵	۰/۴۰	۰/۶۵	۰/۹۰
	$Y=EC_r-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۷۶	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۲۲
۰-۱۲۵	$D_{lw}$ (cm)	۱۲/۸۳	۳۷/۸۳	۶۲/۸۳	۸۷/۸۳
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۷۰
	$Y=EC_r-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۸۲	۰/۳۹	۰/۲۰	۰/۲۷
۰-۱۵۰	$D_{lw}$ (cm)	۱۲/۸۳	۳۷/۸۳	۶۲/۸۳	۸۷/۸۳
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۵۹
	$Y=EC_r-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۸۸	۰/۴۳	۰/۲۲	۰/۳۱

$$EC_{eq} = ۲/۸۰ \text{ dS/m}$$

کاربرد مدل‌های شوری‌زدایی به منظور تدوین برنامه تناوب زراعی خاک‌های شور و سدیمی / ۹۷

جدول ۳. نسبت‌های محاسباتی مربوط به شوری زدایی خاک‌های مورد آزمون (تیمار دوم)

عمق خاک (cm)	(X, Y)	عمق خالص آب آبشویی و نسبت‌های محاسباتی مربوط به آن			
۰-۲۵	$D_{lw}$ (cm)	۲۲/۱۶	۴۷/۱۶	۷۲/۱۶	۹۷/۱۶
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۸۹	۱/۸۹	۲/۸۹	۳/۸۹
	$Y=EC_f-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۶۲	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۱
۰-۵۰	$D_{lw}$ (cm)	۱۹/۶۶	۴۴/۶۶	۶۹/۶۶	۹۴/۶۶
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۳۹	۰/۸۹	۱/۳۹	۱/۸۹
	$Y=EC_f-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۶۶	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۰
۰-۷۵	$D_{lw}$ (cm)	۱۸/۹۵	۴۳/۹۵	۶۸/۹۵	۹۳/۹۵
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۲۵	۰/۵۹	۰/۹۲	۱/۲۵
	$Y=EC_f-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۶۸	۰/۲۱	۰/۰۴	۰/۰۴
۰-۱۰۰	$D_{lw}$ (cm)	۱۷/۷۰	۴۲/۷۰	۶۷/۷۰	۹۲/۷۰
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۱۸	۰/۴۳	۰/۶۸	۰/۹۳
	$Y=EC_f-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۷۰	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۰۹
۰-۱۲۵	$D_{lw}$ (cm)	۱۶/۳۶	۴۱/۳۶	۶۶/۳۶	۹۱/۳۶
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۱۳	۰/۳۳	۰/۵۳	۰/۷۳
	$Y=EC_f-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۷۸	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۱۲
۰-۱۵۰	$D_{lw}$ (cm)	۱۶/۳۶	۴۱/۳۶	۶۶/۳۶	۹۱/۳۶
	$X=D_{lw}/D_s$	۰/۱۱	۰/۲۸	۰/۴۴	۰/۶۱
	$Y=EC_f-EC_{eq}/EC_i-EC_{eq}$	۰/۸۵	۰/۲۹	۰/۰۴	۰/۱۵

$EC_{eq} = 7.4 \cdot dS/m$

بر پایه نتایج حاصل از جدول ۴ از میان مدل‌های برازش شده، مدل لگاریتمی با بیشترین ضریب همبستگی (۰/۸۳) و کمترین انحراف معیار (۰/۱۴ و ۰/۲۶) به ترتیب مناسب‌ترین مدل شوری‌زدایی در تیمار اول و دوم بوده و روابط ۶ و ۷ به ترتیب به عنوان مناسب‌ترین توابع برای تیمارهای آبشویی با و بدون کاربرد ماده اصلاح‌کننده به دست آمد.

ارقام مندرج در جدول‌های ۲ و ۳ با استفاده از نرم‌افزارهای CurveExpert 1.3 و SPSS ویرایش 16.0 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و چهار مدل تجربی توانی، نمایی، معکوس و لگاریتمی به داده‌های آزمایشی برازش داده شد که چکیده آن در جدول ۴ ارائه شده است

جدول ۴. نتایج برازش بهترین مدل‌های مختلف به داده‌های شوری زدایی

تیمار	تابع برازش شده	a	b	r	انحراف معیار	سطح معنی‌داری
تیمار اول	$Y = ae^{bx}$	۰/۹۱	-۱/۷۶	۰/۸۱	۰/۱۵	۰/۰۰۱
تیمار دوم	$Y = ae^{bx}$	-	-	-	-	-
تیمار اول	$Y = ax^b$	۰/۲۲	-۰/۵۹	۰/۸۲	۰/۱۳	۰/۰۰۱
تیمار دوم	$Y = ax^b$	-	-	-	-	-
تیمار اول	$Y = a + b \ln x$	۰/۲۸	-۰/۲۲	۰/۸۳	۰/۱۴	۰/۰۰۱
تیمار دوم	$Y = a + b \ln x$	۰/۴۵	-۰/۴۲	۰/۸۳	۰/۲۶	۰/۰۰۱
تیمار اول	$Y = a + b/x$	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۸۲	۰/۱۴	۰/۰۰۱
تیمار دوم	$Y = a + b/x$	۰/۰۰۸	۰/۱۰	۰/۸۰	۰/۲۷	۰/۰۰۱

جدول ۵. نتایج حاصل از برازش و انتخاب بهترین مدل تجربی برای برآورد آب آیشویی خالص و شوری نهایی در محدوده مورد مطالعه

تیمار	مقادیر تعادلی ECe (دسی زیمنس بر متر)	محدوده اعتبار کاربردی مدل تجربی مربوطه ECe (دسی زیمنس بر متر)	بهترین مدل تجربی برای محاسبه مقادیر آب آیشویی خالص ( $D_{lw}$ ), شوری نهایی ( $EC_f$ )
کاربرد آب آیشویی	۲/۸۰	۹/۱۰ - ۴۴/۱۰	$D_{lw} = D_s \exp[(Y - 0.28)/(-0.22)]$ $EC_f = [(0.28 - 0.22 \ln(D_{lw}/D_s)) \times EC_i - EC_{eq}] + EC_{eq}$
کاربرد آب آیشویی و گچ	۶/۴۰	۸/۳۰ - ۴۵/۸۰	$D_{lw} = D_s \exp[(Y - 0.45)/(-0.42)]$ $EC_f = [(0.45 - 0.42 \ln(D_{lw}/D_s)) \times EC_i - EC_{eq}] + EC_{eq}$

کمترین مقدار ME مربوط به مدل لگاریتمی و معکوس می‌باشد. بررسی این پنج آماره نشان می‌دهد که مدل‌های برازش داده شده با اندک اختلافی از یک روند پیش بینی شده تبعیت می‌کنند، لیکن مدل لگاریتمی برای شوری زدایی خاک‌های محدوده مورد مطالعه بهتر از سایر مدل‌ها می‌باشد. همچنین، بررسی آماره‌های محاسبه شده برای داده‌های مشاهده شده و برازش داده شده برای تیمار دوم نیز بیانگر آن است که مدل‌های نمایی و توانی در این تیمار در مقایسه با دیگر مدل‌ها برآورد مناسبی ارائه نمی‌کنند. گرایش به بیش برآوردی یا کم برآوردی در هر دو مدل لگاریتمی و معکوس تقریباً یکسان بوده، لیکن با توجه به اینکه مقدار CRM در هر دو مدل حدود صفر می‌باشد، این گرایش خیلی قوی نیست. کمترین مقدار ME مربوط به مدل لگاریتمی بوده و همانند تیمار اول، دو مدل برازش داده شده با اندک اختلافی از یک روند پیش بینی شده تبعیت می‌کنند لیکن مدل لگاریتمی برای شوری زدایی خاک‌های محدوده مورد مطالعه بهتر از مدل معکوس می‌باشد.

با استفاده از روابط گفته شده بهترین مدل تجربی برای برآورد آب آیشویی خالص و شوری نهایی در محدوده مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است.

$$Y = 0.28 - 0.22 \ln x \quad (6)$$

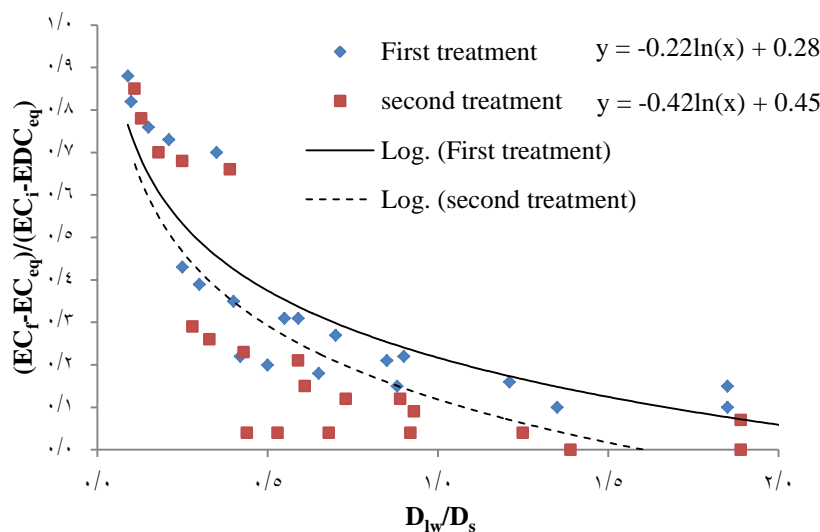
$$Y = 0.45 - 0.42 \ln x \quad (7)$$

پنج آماره ریاضی محاسبه شده برای داده‌های مشاهده شده و برازش داده شده برای تیمارهای مورد آزمون در جدول ۶ ارایه شده است. بر اساس این جدول، برای تیمار اول مقدار RMSE در چهار مدل (RMSE=۰/۰۱) برای تیمار اول، برای تیمار دوم، RMSE=۰/۰۱ برای مدل توانی، RMSE=۰/۱۴ برای مدل لگاریتمی و RMSE=۰/۱۴ برای مدل معکوس) نمایانگر آن است که مدل لگاریتمی بهتر از سایر مدل‌ها می‌باشد. گرایش به بیش برآوردی یا کم برآوردی در هر چهار مدل تقریباً یکسان بوده، لیکن با توجه به اینکه مقدار CRM در هر چهار مدل حدود صفر می‌باشد، این گرایش چندان قوی نیست.

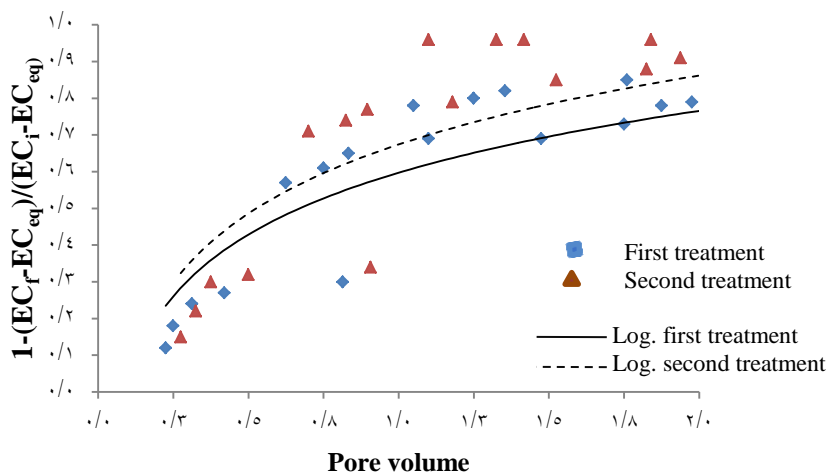
جدول ۶. آماره‌های محاسبه شده برای ارزیابی مدل‌های برازش داده شده در تیمارهای مورد آزمون

مدل	تیمار	RMSE	CRM	CD	EF	ME
Exponential	اول	۰/۰۱	۰/۱۴	۴/۴۸	۰/۴۱	۰/۱۵
	دوم	-	-	-	-	-
Power	اول	۰/۰۱	۰/۰۵	۱/۲۳	۰/۷۱	۰/۱۲
	دوم	-	-	-	-	-
Log	اول	۰/۱۴	۰/۰۱	۱/۴۵	۰/۷۳	۰/۱۱
	دوم	۰/۱۸	-۰/۰۹	۱/۶۸	۰/۶۸	۰/۲۰
Inverse	اول	۰/۱۴	۰/۰۰	۱/۴۳	۰/۷۰	۰/۱۱
	دوم	۰/۱۶	-۰/۰۹	۱/۴۷	۰/۶۰	۰/۲۱





شکل ۲. منحنی شوری زدایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. مقادیر نمک‌های اولیه شسته شده به ازای مقادیر مختلف آب منفذی

و Bigger (۱۹۶۱) در حالت کلی به ازای یک واحد آب منفذی، ۵۰ درصد نمک‌ها شسته می‌شوند. این موضوع در پژوهش دیگری که توسط van der Molen (1956) انجام شد نیز تأیید شده است. لیکن با توجه به شکل ۳ به ازای یک واحد آب منفذی کاربردی حدود ۶۰٪ و ۶۸٪ نمک‌های اولیه به ترتیب برای تیمار اول و دوم شسته شده و شستشوی نمک‌های باقیمانده نیازمند زمان بیشتری است.

به منظور محاسبه (برآورد) مقادیر شوری نهایی ( $EC_f$ ) عصاره اشباع خاک به ازای مقادیر متفاوت نسبت عمق آب آبخویی به عمق خاک ( $D_w/D_s$ ) با کاربرد مقدار

با کاربرد روابط ۶ و ۷ که مناسب‌ترین مدل‌های تجربی شوری زدایی خاک‌های مورد آزمون می‌باشند، منحنی شوری زدایی و مقادیر نمک‌های اولیه شسته شده به ازای مقادیر مختلف آب منفذی<sup>۱</sup> به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

$$Pore\ volume = D_w / (n \times D_s) \quad (۸)$$

که در آن،  $D_w$  عمق آب آبخویی کاربردی،  $D_s$  عمق لایه خاک و  $n$  تخلخل خاک می‌باشد.

به دلیل آنکه فرآیندهای حاصل از این بررسی از نظریه جابجایی اختلاط پذیری تبعیت می‌کند، بر پایه‌ی Nielsen

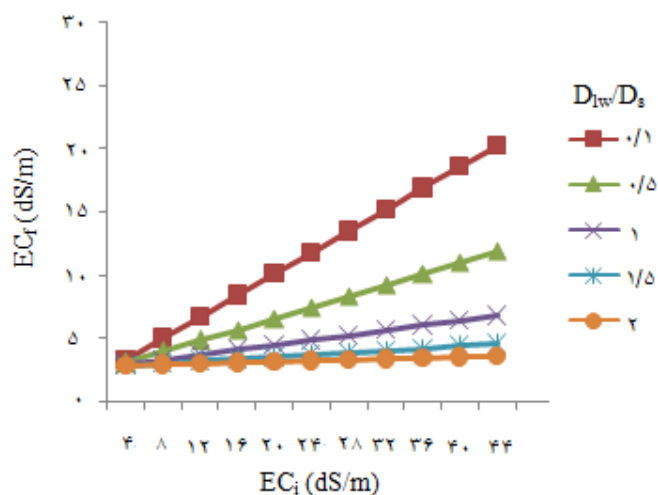
<sup>۱</sup>pore volume

آبشویی خالص ( $D_{lw}$ ) مورد نیاز بر حسب متر یا سانتی متر حاصل می شود.

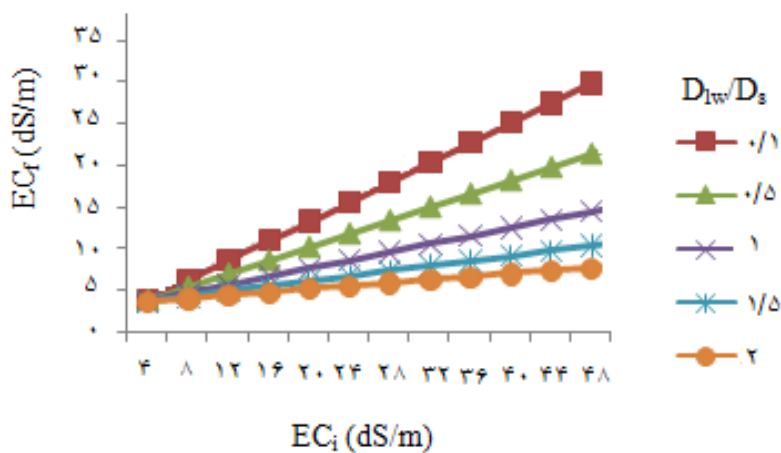
همچنین، به منظور تسهیل در برآورد مقادیر آب لازم (خالص) برای کاهش شوری کلاس های مختلف خاک و اراضی در اقله های مختلف نیمرخ خاک جدول ۷ تهیه و برای برنامه ریزی و کاربرد در برنامه های اصلاح خاک و اراضی در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. در نهایت، پیشنهاد های مربوط به تناوب زراعی اصلاحی با حفظ اولویت به منظور اصلاح و بهسازی فیزیکو-شیمیایی خاک های (شوری و سدیم زدایی) محدوده مورد مطالعه تحت عنوان گزینه های زیر ارائه گردید.

شوری نهایی و تعادلی ( $EC_{eq}$ ) به ترتیب برای آزمون های کاربرد آب آبشویی بدون ماده اصلاح کننده و همراه ماده اصلاح کننده گچ و استفاده از مدل تجربی شوری زدایی (روابط ۶ و ۷) اقدام گردید که نتایج حاصل در شکل های ۴ و ۵ ارائه شده است.

با استفاده از مقدار شوری اولیه عصاره اشباع خاک و مقدار نسبت عمق آب آبشویی به عمق خاک ( $D_{lw}/D_s$ )، مقادیر شوری نهایی متناظر به آن را می توان از شکل های گفته شده استخراج کرد. لازم به ذکر است که هرگاه رقم این نسبت (بدون بعد) در ضخامت لایه خاک ( $D_s$ ) که اصلاح آن مورد نظر است ضرب گردد مقدار عمق آب



شکل ۴. مقادیر برآورد شده شوری نهایی عصاره اشباع خاک به ازای مقادیر متفاوت نسبت عمق آب آبشویی به عمق خاک برای مقادیر مختلف شوری اولیه (تیمار اول)



شکل ۵. مقادیر برآورد شده شوری نهایی عصاره اشباع خاک به ازای مقادیر متفاوت نسبت عمق آب آبشویی به عمق خاک برای مقادیر مختلف شوری اولیه (تیمار دوم)

کاربرد مدل‌های شوری‌زدایی به منظور تدوین برنامه تناوب زراعی خاک‌های شور و سدیمی / ۱۰۱

جدول ۷. عمق آب آبشویی (خالص) مورد نیاز برای تغییر مقادیر شوری در اعماق مختلف

درجه و کلاس شوری خاک پس تیمار از آبشویی (EC <sub>f</sub> )	کلاس‌های شوری خاک پیش از آبشویی (EC <sub>i</sub> )															
	S <sub>1</sub>				S <sub>2</sub>				S <sub>3</sub>				S <sub>4</sub>			
	ضخامت لایه خاک از سطح زمین (متر)				ضخامت لایه خاک از سطح زمین (متر)				ضخامت لایه خاک از سطح زمین (متر)				ضخامت لایه خاک از سطح زمین (متر)			
	۱/۵	۱/۰	۰/۵	۰/۲۵	۱/۵	۱/۰	۰/۵	۰/۲۵	۱/۵	۱/۰	۰/۵	۰/۲۵	۱/۵	۱/۰	۰/۵	۰/۲۵
S <sub>0</sub> اول	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۵۳	۰/۷۹	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۵۹	۰/۸۹	۰/۱۶	۰/۳۱	۰/۶۲	۰/۹۳
S <sub>0</sub> دوم	۰/۵۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۳/۰۰	۰/۶۵	۱/۳۰	۲/۶۰	۳/۹۰	۰/۷۵	۱/۵۰	۳/۰۰	۴/۵۰	۰/۸۳	۱/۶۵	۳/۳۰	۴/۹۵
S <sub>1</sub> اول	-	-	-	-	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۳۳
S <sub>1</sub> دوم	-	-	-	-	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۹۰	۰/۲۵	۰/۵۰	۱/۰۰	۱/۵۰	۰/۳۳	۰/۶۵	۱/۳۰	۱/۹۵
S <sub>2</sub> اول	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۳
S <sub>2</sub> دوم	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۱۸	۰/۳۵	۰/۷۰	۱/۰۵
S <sub>3</sub> اول	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۳	۰/۰۵
S <sub>3</sub> دوم	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۱۵	۰/۴۵

شرح علائم: S<sub>0</sub> < ۴/۰، S<sub>1</sub> = ۴/۰ - ۸/۰، S<sub>2</sub> = ۸/۰ - ۱۶/۰، S<sub>3</sub> = ۱۶/۰ - ۳۲/۰، S<sub>4</sub> > ۳۲/۰ دسی‌زیمنس بر متر است.

گزینه نخست

با توجه به اینکه تاریخ کاشت و برداشت جو به ترتیب اواسط آذر ماه و اواسط اردیبهشت ماه می‌باشد، به‌منظور برآورد میزان آب مورد نیاز آبشویی مقدماتی با توجه به حد تحمل شوری جو که ۸ دسی‌زیمنس بر متر است به شرح زیر عمل گردید:

با استفاده از معادله تجربی محاسبه مقادیر آب آبشویی خالص در تیمار دوم که بهترین معادله برای محاسبه D<sub>lw</sub> می‌باشد (جدول ۵)، برای عمق خاک مورد نظر (۰/۲۵ متر) میزان خالص آب لازم برای کاهش مقدار شوری اولیه خاک از ۴۵/۸ به ۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر برابراست با:

$$D_{lw} = 0.25 \exp \left[ \left( \frac{8.0 - 6.4}{45.8 - 6.4} - 0.45 \right) / (-0.42) \right] = 0.655 \text{ m} = 65.5 \text{ cm} \quad (9)$$

طبق تحقیقات انجام شده میزان نفوذ عمقی روزانه حدود ۲ سانتی‌متر در روز برآورد شده و در نتیجه مدت زمان لازم برای نفوذ ۶۵ سانتی‌متر آب خالص آبشویی حدود ۳۲ روز می‌باشد. بنابراین برنامه آبشویی نمک‌ها از نیم‌رخ خاک حدود یک ماه پیش از تاریخ کشت جو (اواسط آذر ماه) و با در نظر گرفتن شرایط محلی می‌تواند

انجام شود. بدین ترتیب طی زمان لازم برای نفوذ آب به خاک (۳۲ روز)، روزانه و به طور متوسط ۰/۵۲ سانتی‌متر تبخیر تعدیل شده وجود دارد. بدین ترتیب کل میزان تبخیر تعدیل شده در این دوره ۱۶/۶۴ سانتی‌متر و با منظور کردن ۲/۸۴ سانتی‌متر آب لازم برای تأمین کسر رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی تا عمق مورد نظر و در شرایطی که میزان نفوذ ناشی از بارندگی ۰/۶ سانتی‌متر باشد، جمع کل میزان آب کاربردی (ناخالص) برای آبشویی مقدماتی نمک‌های لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک و رسانیدن شوری خاک از ۴۵/۸ به ۶/۴ دسی‌زیمنس بر متر حدود ۸۴/۳۸ سانتی‌متر (۰/۶-) ۲/۸۴ + ۱۶/۶۴ + ۶۵/۵ خواهد بود. بنابراین در صورت لزوم با کاربرد ۰/۸۵ متر آب آبشویی امکان انجام برنامه (از اوایل آبان تا اواسط آذر) نیز فراهم است. بدین ترتیب در اواسط آذر ماه پس از گاو رو شدن زمین می‌توان نسبت به اصلاح فیزیکی خاک و کشت جو اقدام کرد. نیاز آبی زراعت جو طی دوره رشد (اواسط آذر تا اواسط اردیبهشت) ۵۳۱۰ متر مکعب در هکتار برآورد شده که از این مقدار آب با فرض این‌که میزان تراوشات عمقی حدود ۳۵٪ عمق آب آبیاری است، حدود ۱۸/۶ سانتی‌متر

در کل به صورت تراوشات عمقی از ناحیه رشد ریشه خارج می‌شود. بنابراین مقدار آب نفوذ یافته با احتساب مقدار خالص آب آبخویی مقدماتی ۸۴ سانتی‌متر (۱۸/۶+۶۵/۵) است و بدین ترتیب مقدار شوری لایه یک متری خاک به حدود ۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد که در لایه فوقانی نیمرخ خاک مقدار آن به مراتب کمتر است. لازم به ذکر است که در این حالت نیاز آبی محاسبه شده جبران کسر آبخویی نمکهای محلول را می‌کند. بدین ترتیب در این گزینه با استفاده از زراعت جو، افزون بر کاربرد آب آبخویی مقدماتی نوع زراعت نیز در استمرار امر آبخویی نقش به‌سزایی داشته است.

### گزینه دوم

نظر به اینکه در الگوی کشت رایج منطقه مورد مطالعه زمان کاشت یونجه مهر ماه و یا فروردین ماه می‌باشد. به‌منظور تعیین میزان آب مورد نیاز آبخویی مقدماتی با توجه به حد تحمل شوری یونجه که ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر است بدین گونه عمل گردید که با استفاده از معادله تجربی محاسبه مقادیر آب آبخویی خالص در تیمار اول که بهترین معادله برای محاسبه  $D_{1w}$  می‌باشد (جدول ۵)، برای عمق خاک مورد نظر (۰/۲۵ متر) میزان خالص آب لازم برای کاهش مقدار شوری اولیه خاک به ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر برابر با ۷۳ سانتی‌متر است.

همانند گزینه نخست میزان نفوذ عمقی روزانه حدود ۲ سانتی‌متر در روز برآورد گردید و در نتیجه مدت زمان لازم برای نفوذ ۷۳ سانتی‌متر آب خالص آبخویی حدود ۳۶ روز می‌باشد. بنابراین برنامه آبخویی اوایل اسفند ماه تا اوایل فروردین ماه و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی محلی می‌تواند انجام شود. در این مدت طی زمان لازم برای نفوذ آب به خاک (۳۶ روز)، مقدار تبخیر ۰/۲۴ سانتی‌متر در روز بوده و در نتیجه در طول مدت آبخویی نمک‌ها ۹/۳ سانتی‌متر آب آبخویی تبخیر می‌شود. با منظور کردن ۳/۷۷ سانتی‌متر آب لازم برای تأمین کسر رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی تا عمق مورد نظر و

در شرایطی که میزان نفوذ ناشی از بارندگی ۰/۷۲ سانتی‌متر باشد، جمع کل میزان آب کاربردی (ناخالص) برای آبخویی مقدماتی نمک‌های لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری نیمرخ خاک و رسانیدن شوری خاک از ۴۴/۱۰ به ۳ دسی‌زیمنس بر متر حدود ۸۶/۳ سانتی‌متر (۰/۷۲-۷۳+۹/۳+۳/۷۷) خواهد بود. بنابراین در صورت لزوم با کاربرد ۰/۹ متر آب آبخویی امکان انجام برنامه آبخویی از اواسط بهمن تا اوایل فروردین) پیش‌بینی می‌شود. نیاز آبی زراعت یونجه در یک سال زراعی ۱۹۳۳۰ متر مکعب در هکتار برآورد شده که از این مقدار آب در مجموع حدود ۴۸/۳ سانتی‌متر به صورت تراوشات عمقی طی یک سال از محدوده توسعه ریشه خارج می‌شود. بنابراین مقدار آب نفوذ یافته با احتساب مقدار خالص آب آبخویی مقدماتی حدود ۱۳۴ سانتی‌متر است. در این حالت نیاز آبی محاسبه شده تکافوی حفظ تعادل نمک در خاک پس از انجام آبخویی مقدماتی را می‌نماید. بدین ترتیب در این گزینه نیز افزون بر کاربرد آب آبخویی مقدماتی با انجام زراعت یونجه، شستشوی نمک‌ها از نیمرخ خاک استمرار یافته و اصلاح خاک به خوبی انجام می‌شود.

### نتیجه‌گیری

از میان مدل‌های مورد بررسی، مدل لگاریتمی از کارایی بهتری برای تخمین مقدار آب مورد نیاز برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی برخوردار است. بر پایه مدل به‌دست آمده، مقدار خالص آب لازم برای کاهش مقدار شوری اولیه خاک محاسبه گردید. با توجه به اینکه ایران در معرض شور شدن منابع آب و خاک قرار دارد و طبق آمار فائو حدود ۲۵/۵ میلیون هکتار از اراضی ایران شور بوده و ۸/۵ میلیون هکتار هم در کلاس بسیار شور قرار دارند (FAO, 2010) و نیز مواجه شدن با خشکسالی‌های پیاپی و کاهش شدید بارش در کشور، برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه مصرف منابع آب بیش از پیش حائز اهمیت است. در نهایت برای بهسازی خاک‌های شور و سدیمی، برنامه تناوب زراعی اصلاحی

اراضی در دو گزینه ارائه گردید. گزینه نخست با آبشویی مقدماتی و کشت جو در استمرار آبشویی در اولویت بود و گزینه دوم با آبشویی مقدماتی و کشت یونجه در استمرار آبشویی در اولویت بعدی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گنجاندن یک برنامه‌ی تناوب زراعی به همراه آب آبشویی، ضمن آبشویی مؤثر نمک‌های محلول از نیمرخ خاک، موجب صرفه‌جویی فراوان در منابع آب مصرفی می‌گردد. شایان ذکر است که پیش نیاز اصلی چنین راهکاری لزوم انجام عملیات زهکشی می‌باشد.

### فهرست منابع

- اسدی کپورچال، ص.، همایی، م. و پذیرا، ا. ۱۳۹۱. مدلسازی آب آبشویی مورد نیاز برای بهسازی خاک‌های شور. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۲(۲): ۶۵-۸۳.
- بنایی، م. ح. ۱۳۸۰. نقشه خاک ایران، منابع اراضی و پتانسیل‌ها (۱:۱۰۰۰۰۰۰)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تهران، ایران.
- بی‌نام، ۱۳۸۱. دستورالعمل آزمایش‌های آبشویی خاک‌های شور و سدیمی در ایران، نشریه شماره ۲۵۵، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، ایران.
- بی‌نام، ۱۳۸۷. پروژه ملی اطلس سیمای حوزه‌های آبخیز کشور، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.
- جلالی، و.ر.، همایی، م. و میرنیا، س.خ. ۱۳۸۶. تأثیر سطوح مختلف شوری محیط رشد بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کلزا، مجله علوم خاک و آب، ۲۱(۲): ۲۰۹-۲۱۷.
- جلالی، و.ر. و همایی، م. ۱۳۸۹. مدل‌سازی اثر زمان اعمال تنش شوری محیط ریشه بر عملکرد گیاه کلزا. مجله به‌زراعی کشاورزی، ۱۲(۱): ۲۹-۴۰.
- حسینی، ی.، همایی، م.، کریمیان، ن.ع. و سعادت، س. ۱۳۸۷. اثرات فسفر و شوری بر رشد، غلظت عناصر غذایی و کارایی مصرف آب در کلزا (*Brassica napus L.*). پژوهش کشاورزی، ۸(۴): ۱-۱۸.
- سعادت، س.، همایی، م. و لیافت، ع.م. ۱۳۸۴. اثر شوری محلول خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سورگوم علوفه‌ای. مجله علوم خاک و آب، ۱۹(۲): ۲۴۳-۲۵۴.
- کیانی، ع.ر.، میرلطیفی، م.، همایی، م. و چراغی، ع.م. ۱۳۸۴. کارایی مصرف آب گندم تحت شرایط شوری و کم‌آبی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶(۲۴): ۶۴-۷۴.
- کیانی، ع.ر.، همایی، م. و میرلطیفی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم‌آبی. مجله علوم خاک و آب، ۲۰(۱): ۷۳-۸۳.
- محمدزاده، م.، همایی، م. و پذیرا، ا. ۱۳۹۲. مدلی کاربردی برای بهسازی خاک‌های شور و سدیمی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۳(۱): ۴۳-۵۹.

همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۵۸، ۹۷ صفحه.

- 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. *Agricultural water Management*, 95: 587-597.
- Chen, W., Hou, Zh., Wu, L., Liang, Y. and Wei, Ch. 2010. Evaluating salinity distribution in soil irrigated with saline water in arid regions of northwest China. *Agricultural water management*, 97 (12): 2001-2008.
- Corwin, D.L., Rhoades, J.D. and Simunek, 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 Ross, 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 pp.
- Dirksen, C. Kool, J.B. Koorevaar, P. and van Genuchten, M.Th.1993. HYSWASOR- Simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. p. 99-122. In D. Russo, and G. Dagan, (ed), *Water Flow and Solute Transport in Soils*. Springer Verlage, New York.
- Epstein, E., Norlyn, J.D., Rush, D.W., Kingsbury, R.W., Kelly D.B., Cunningham, G.A. And Wrona, A.F. 1980. Saline culture of crops: A genetic approach. *Science*, 210:399-404.
- Esmaili, E., Asadi Kapourchal, S., Malakouti, M.J. and Homaei, M. 2008. Interactive Effect of Salinity and Two Nitrogen Fertilizers on Growth and Composition of Sorghum. *Plant Soil and Environment*, 56(12): 537-546.
- FAO. 2010. Extent and causes of salt-affected soils in participating countries. Available on URL: <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spuch/topic4.htm>.
- Ghassemi, F., Jankeman, A.J. and Nix, H.A. 1995. Salinisation of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies. The Australian national university, Australia.
- Hendrikus Barnard, J., van Rensburg, L.D. and Peter Bennie, A.T. 2010. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity. *Irrigation Science*, 28: 191-201.
- 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.
- Homaei, M., Feddes, R.A. and Dirksen, C. 2002a. A macroscopic water extraction mode for nonuniform transient salinity and water stress. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6): 1764-1772.
- Homaei, M., Dirksen, C. and Feddes, R.A. 2002b. Simulation of root water uptake: I. Nonuniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agricultural Water Management*, 57(2): 89-109.
- Homaei, M., Feddes, R.A. and Dirksen, C. 2002c. Simulation of root water uptake. II. Nonuniform transient water stress using different reduction functions. *Agricultural Water Management*, 57(2): 111-126.
- Homaei, M., Feddes, R.A. and Dirksen, C. 2002d. Simulation of root water uptake. III. Nonuniform transient combined salinity and water stress. *Agricultural Water Management*, 57(2): 127-144.
- Homaei, M. and Feddes, R.A. 1999. Water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. p. 416-427. In J. Feyen and K. Wiyono (ed.), *Modeling of transport processes in soils at various scales in time and space*.
- Homaei, M. and Feddes, R.A. 2001. Quantification of water extraction under salinity and drought. p. 376-377, In W.J. Horst *et al.*, (ed.), *Plant nutrition-Food security sustainability of agro-ecosystems*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Homaei, M. and Feddes, R.A. 2002. Modeling the sink term under variable soil water osmotic heads. p.17-24. In Hassanizadeh *et al.*, (ed.), *developments in water resources 47 (1); Computational methods in water resources*. Elsevier Science B.V., The Netherlands.
- Homaei, M. and Schmidhalter, U. 2008. Water integration by plants root under non-uniform soil salinity. *Irrigation Science*, 27: 83-95.
- Jalali, V.R., Asadi Kapourchal, S. and Homaei, M. 2017. Evaluating performance of macroscopic water uptake models at productive growth stages of durum wheat under saline conditions. *Agricultural Water Management*, 180: 13-21.
- Jurinak, J.J. 1981. Salt-affected soils, Utah state university. Logan, Utah. Chapter V. p. 1-13.
- Leffelaar, P.A. and Sharma, P. 1977. Leaching of a highly saline- sodic soil. *Journal of Hydrology*, 32: 203-218.
- Maas, E.V. and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance -current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 103: 115-134.
- Nielsen, D.R. and Biggar, J.W. 1961. Miscible displacement in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 25: 1-5.
- 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 Homaei, 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.
- 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.
- Saadat, S., and Homaei, M. 2015. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. *Agricultural Water Management*, 152:119-124.

- Sharma, B.R. and Minhas, P.S. 2005. Strategies for managing saline/alkali waters for sustainable agricultural production in South Asia. *Agricultural Water Management*, 78 (1-2): 136-151.
- Szabolcs, I. 1994. Soils and salinization. p. 3-11. In M. Pessarakli (ed.) *HB of plant and crop stress*. Marcel Dekker, New York.
- van der Molen, W.H. 1956. Desalinization of saline soils as a column process. *Soil Science*, 81: 19-27.
- van Genuchten, M.Th. and Hoffman, G.J. 1984. Analysis of crop salt tolerance data. p. 258-271. In I. Shainberg, and J. shalhevet. (ed.), *Soil salinity under irrigation process and management*. Ecological Studies, 51. Springer-Verlag, New York.
- Verma, S.K. and Gupta, R.K. 1989. Leaching of saline clay soil under two modes of water application. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 37: 803-808.
- Zarei, Gh., Homaei, M., Liaghat, A.M. and Hoorfar. A.H. 2010. A model for soil surface evaporation based on Campbell's retention curve. *Journal of Hydrology*, 380: 356-361.



## Using desalinization models for scheduling crop rotation of saline-sodic soils: a case study in Ramhormoz region, Iran

Safoora Asadi Kapourchal<sup>1\*</sup> and Mehdi Homaei<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran

\*Corresponding author email: [safooraasadi@guilan.ac.ir](mailto:safooraasadi@guilan.ac.ir)

<sup>2</sup> Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 13-9-2016

Accepted: 26-04-2016

### Abstract

Soil salinity is one of the important challenges for sustainable agriculture in arid and semi-arid regions. Accumulation of soluble salts within the soil profile adversely affects some physical and chemical properties of soils including osmotic pressure, permeability and hydraulic conductivity. As a consequence, growth and development of plant is seriously reduced or fully ceased. The objective of this study was to assess using desalinization models for scheduling crop rotation of reclamation saline-sodic soils. Consequently, a large area of 45,000 ha with S<sub>4</sub>A<sub>3</sub> (extreme salinity and sodicity) salinity/sodicity class was selected to obtain the required data, in Khuzestan, Iran. This experiment was conducted with two treatments each with three replicates. In the first treatment, the experiment was conducted by applying just 100 cm water depth in four-25 cm intervals. In the second treatment, 10 Ton gypsum (78% purity rate) was applied prior to salt leaching together with leaching water. Soil samples were taken from 0-25, 25-50, 50-75, 75-100, 100-125 and 125-150 cm soil depths before, during and after each leaching water application interval. The required physical and chemical soil analyses were performed for the collected data. The results indicated that the logarithmic model can estimate the capital leaching requirement much better than other models. Based on the obtained model, the amount of net water needed to reduce initial soil salinity was calculated and finally crop rotation in two options was presented for reclamation of saline-sodic soils. The first option with preliminary leaching and cultivation of barley in continues leaching was assigned as the first priority. The second option with preliminary leaching and alfalfa cultivation and continues leaching was assigned as the next priority. The obtained results further indicated that the inclusion of scheduling crop rotation to the leaching practice, in addition to enhance effective leaching of soluble salts from the soil profile, causes considerable water saving.

**Keywords:** crop rotation; leaching; saline-sodic soils; soil reclamation