



دانشگاه گواران، دانشکده کشاورزی، مشهد

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد هجدهم، شماره سوم، ۱۳۹۰

www.gau.ac.ir/journals

بررسی و تعیین یک مدل تجربی برای آبتجوی خاک‌های شور و سدیمی بخش میانی استان خوزستان

*فائزه رجبزاده^۱، ابراهیم پذیرا^۲ و محمدحسین مهدیان^۳

^۱استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهریار- شهر قدس، ^۲دانشیار واحد علوم و تحقیقات

دانشگاه آزاد اسلامی، آستادیار سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۶؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۴

چکیده

در طرح‌های مطالعاتی بررسی امکانات اصلاح فیزیکی شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی، تعیین میزان آب لازم برای آبتجوی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های متلاجه، از طریق آزمون‌های مزرعه‌ای توصیه شده است. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از اجرای این آزمون‌ها، می‌توان نسبت به تهیه و ارائه منحنی‌های آبتجوی و تعیین میزان آب لازم برای تعدیل میزان شوری و سدیمی بودن خاک‌ها تا حد مطلوب اقدام نمود. هدف از این پژوهش، اجرای آزمون‌های مزرعه‌ای در زمین‌های بخش میانی استان خوزستان، برای اهداف شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی، تعیین یک مدل مناسب برای خاک‌های منطقه مورد مطالعه و مقایسه نتایج یافته‌ها با تعدادی از مدل‌های تجربی موجود بوده است. در این پژوهش، نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای در مورد شوری‌زدایی، سدیم‌زدایی و ارقام آبتجوی نوعی خاک بسیار شور و سدیمی که از طریق استوانه‌های مضاعف در سه منطقه در محدوده مطالعاتی و با کاربرد ۱/۰ متر آب آبتجوی با روش غرقاب متناوب به مرحله اجرا در آمده بود، ارائه شده است. ارقام آبتجوی مشاهده‌ای و محاسبه شده با چند مدل معروف تجربی، مورد مقایسه قرار گرفت و رابطه نوبنی به‌صورت تابع‌نمایی به نتایج به‌دست آمده، برازش داده شد. در نتیجه معلوم گردید که کاربرد روابط تجربی ارائه شده به‌وسیله ریو، دیلمان و ورما و گوپتا به نتایج به‌دست آمده از اجرای

*مسئول مکاتبه: faizehrajabzadeh@yahoo.com

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۱۸)، شماره (۳) ۱۳۹۰

آزمون‌های انجام یافته در محدوده مورد مطالعه تطابق مناسبی ندارند و روابط ارائه شده به‌وسیله لافلر و شارما، هافمن، پذیرا و کواچی و پذیرا و کشاورز نیز میزان آب مورد نیاز آبخوبی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌ها را به‌طور متوسط ۱/۵ برابر بیشتر در مقایسه با رابطه تابع نمایی نوین برآورد می‌نماید. علاوه بر آن، با استفاده از رابطه نوین، مقایسه‌ای بین ارقام نظری و اعداد تجربی به انجام رسید که نتایج آن مناسب و رضایت بخش بوده است.

واژه‌های کلیدی: آبخوبی نمک‌ها، خاک‌های شور و سدیمی، روابط شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی.

مقدمه

در خاک‌های شور و یا شور و سدیمی، به‌علت افزایش غلظت نمک‌های محلول در نیم‌رخ خاک، جذب آب به‌وسیله ریشه گیاه که مبتنی بر پدیده اسمز است، دچار اختلال گردیده که باعث توقف یا اختلال در رشد و نمو گیاهان می‌گردد. افزون بر این، بعضی یون‌های موجود در عصاره اشباع خاک، مانند سدیم، کلسیم و بزرگ‌مغزهای ویژه‌ای را برای گیاهان به‌وجود می‌آورد. در بیشتر حالت‌ها، افزایش تراکم نمک‌های محلول در عصاره اشباع خاک با فزونی یون سدیم تبادلی ($Ex.Na^+$) در هم‌تافت تبادلی خاک به‌همراه است. آثار سوء سدیم تبادلی بر روی رشد و نمو گیاهان را می‌توان به‌عواملی نظیر مسمومیت گیاهی، عدم توازن تغذیه‌ای در گیاه و افزایش میزان واکنش خاک (pH) نسبت داد (لال و همکاران، ۲۰۰۳).

بنابراین، در برنامه‌های کشاورزی در زمین‌های تحت آبیاری، مقادیر شوری و سدیمی بودن خاک‌ها باید تا میزان مطلوب، به‌منظور بازده اقتصادی تولیدات زراعی و باغی کاهش داده شده و کنترل گردد. برای شوری‌زدایی خاک‌های شور، به‌طور معمول به آبخوبی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک و لایه‌ای از آن که اصلاح آن موردنظر است، اقدام می‌گردد. عمق آب لازم برای آبخوبی نمک‌ها، بستگی به‌میزان شوری اولیه، بافت و عمق خاک، گیاهان انتخابی در الگوی کشت و روش آبخوبی نمک‌های محلول دارد (کروین و همکاران، ۲۰۰۷؛ کناکسا و همکاران، ۲۰۰۵).

آبخوبی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های شور و سدیمی، با استفاده از آبخوبی با روش‌های غرقاب دائم، متناوب و یا به‌وسیله روش آبیاری بارانی امکان‌پذیر است که هر روش مزیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارد. هر چند که راندمان آبخوبی در روش غرقاب متناوب در مقایسه

فائزه رجبزاده و همکاران

با روش غرقاب دائم به علت برقراری شرایط غیراشباع، و عبور کمتر آب از میان منافذ درشت، بیشتر می‌باشد (کوت و همکاران، ۲۰۰۰).

به‌طورکلی، اصلاح خاک‌های شور کار پیچیده‌ای به‌شمار نمی‌رود، زیرا با به‌کارگیری مقدار مورد نیاز آب آبخوبی با کیفیت مناسب، می‌توان نمک‌های اضافی را از نیم‌رخ خاک‌ها آبخوبی نمود، مگر این‌که ویژگی‌های زهکشی داخلی خاک به هر دلیلی نامناسب و یا بافت خاک سنگین تا بسیار سنگین باشد. با توجه به موارد گفته شده، می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌نیاز موفقیت در برنامه‌های اصلاحی و آبخوبی خاک‌های شور، شور و سدیمی به شرایط مطلوب زهکشی خاک‌ها بستگی دارد که اگر این شرایط به‌طور طبیعی فراهم نباشد، به ناچار آن را باید به‌طور مصنوعی ایجاد نمود (پذیرا، ۱۹۹۷؛ رجبزاده و همکاران، ۲۰۰۹).

به هر حال، در صورت وجود شرایط زهکشی مناسب و مطلوب، قبل از شروع برنامه‌های اصلاحی خاک‌های شور و یا شور و سدیمی، دو پرسش کلیدی مطرح خواهد بود: ۱) چه میزان آب و طی چه مدت زمانی برای کاهش سطح شوری مورد نظر در نیم‌رخ خاک و تا عمق مشخص لازم است؟ و ۲) آیا شوری‌زدایی خاک‌ها موجب تشدید پدیده سدیمی شدن خاک‌ها می‌گردد؟

هر چند می‌توان با تقریب و دقت قابل قبولی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای، نسبت به تعیین مقدار آب آبخوبی و زمان لازم برای انجام عملیات آبخوبی اقدام نمود. همچنین در یک مدل مناسب، می‌توان عملیات مدیریتی مختلف را در برنامه آبخوبی نمک‌های محلول اعمال نموده و نتایج به‌دست آمده را برای بررسی فرآیندهایی که در ساختار مدل گنجانده نشده‌اند، اعمال، اصلاح و یا تعدیل نمود. به‌این وسیله امکان مطالعه روند آبخوبی با دقت مناسب امکان‌پذیر می‌گردد (دروگرز و همکاران، ۲۰۰۰). بعضی پژوهشگران اعلام نموده‌اند که برای شرایط حاکم در مزرعه، استفاده از نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی به‌دلیل تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک در مزرعه، به‌طور مستقیم با مشکلاتی همراه است. به‌این ترتیب، استفاده از مدل‌های تجربی به‌عنوان برآورد تقریبی و مقدماتی می‌تواند در دستیابی به اطلاعات مورد نیاز برنامه‌های اصلاحی خاک، به‌ویژه در شرایطی که خاک‌ها از نوع همگن باشند، بسیار سودمند باشند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۲۰۰۶).

ریو (۱۹۵۷)، دیلمان (۱۹۶۳)، هافمن (۱۹۸۰)، پذیرا و کاواچی (۱۹۸۱) و ورما و گوپتا (۱۹۸۹) در ارتباط با تعیین مقدار آب لازم برای آبخوبی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌ها، انواعی از مدل‌های تجربی با روابط ریاضی توابع هذلولی، نمایی و توانی را ارائه کردند که هر یک از این روابط بر پایه

بافت خاک، مقدار شوری اولیه و شرایط محل اجرای آزمون‌های آبشویی تعیین شده‌اند. برای تعیین این روابط به‌غیر از رابطه ریو (۱۹۵۷) از روش آبشویی غرقاب متناوب استفاده شده است. پذیرا و کشاورز (۱۹۹۸) به‌منظور برآورد آب مورد نیاز آبشویی نمک‌های محلول در زمین‌های شور و سدیمی جنوب شرقی استان خوزستان مدل تجربی (توانی) زیر را ارائه دادند:

$$[(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})] = 0.0764 (D_{lw} / D_s)^{-0.1864} \quad (1)$$

که در آن:

EC_f و EC_i ، به‌ترتیب مقادیر شوری عصاره اشباع خاک قبل و پس از عملیات آبشویی، EC_{eq} ، شوری تعادلی عصاره اشباع خاک و (D_{lw}/D_s) نسبت عمق خالص آب آبشویی به واحد عمق خاک می‌باشد.

بهزاد و آخوند علی (۲۰۰۲) با بررسی و مقایسه رابطه‌های شوری‌زدایی به‌دست آمده در شرایط مزرعه و نتایج به‌دست آمده از استوانه‌های مضاعف، در منطقه ملاثانی استان خوزستان، مشاهده نمودند که مقدار آب خالص مصرفی در شرایط مزرعه بیش از مقدار آب محاسبه شده از رابطه‌های مستخرج از نتایج آبشویی نمک‌ها در استوانه‌های مضاعف می‌باشد. مهندسین مشاور مهتاب قدس (۱۹۹۰) با استفاده از نتایج حاصل از اجرای آزمون‌هایی در استوانه‌های مضاعف، برای شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی زمین‌های منطقه شمال اهواز، با تلفیق نتایج حاصل از اجرای آزمون در ده سری خاک، به‌ترتیب مدل‌های ترکیبی زیر را ارائه دادند:

$$[(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})] = 0.093 \exp(-0.091 (D_{lw} / D_s)) \quad (2)$$

$$[(ESP_f - ESP_{eq}) / (ESP_i - ESP_{eq})] = 0.045 \exp(-0.078 (D_{lw} / D_s)) \quad (3)$$

که در آن:

ESP_f و ESP_i ، به‌ترتیب درصد سدیم تبادلی خاک قبل و پس از عملیات آبشویی، ESP_{eq} درصد سدیم تبادلی تعادلی و سایر علائم دارای معانی قبلی می‌باشند.

محسنی‌فر و همکاران (۲۰۰۶) به‌منظور بررسی امکان آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌ها در منطقه‌ای در جنوب استان خوزستان یک مدل تجربی (ریاضی) معکوس ارائه داده و هم‌خوانی مناسبی بین ارقام نظری و تجربی را گزارش نمودند.

هدف از اجرای این پژوهش، انجام آزمون‌های مزرعه‌ای در زمین‌های بخش میانی استان خوزستان برای اهداف شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌ها، مقایسه یافته‌ها با تعدادی از مدل‌های تجربی موجود و دستیابی به یک مدل مناسب برای منطقه مورد مطالعه بوده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد بررسی، بخشی از زمین‌های میانی استان خوزستان در جنوب غرب ایران به مساحت ۲۰۱۶۷ هکتار است. این زمین‌ها از شمال به رودخانه دز، از شرق به رودخانه کارون، از غرب به راه آهن اهواز-تهران و از جنوب به شهر اهواز محدود می‌گردد. خاک‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی جامع وزارت کشاورزی آمریکا^۱ به‌طور عمده سیلتی رسی (SiC) تا رسی سیلتی (CSi) و از نظر طبقه‌بندی تیپیک هاپلوسالید^۲ بوده است، به‌طوری که بیش از ۹۰ درصد زمین‌های محدوده مورد مطالعه دارای مشکلات شوری متوسط، نسبتاً زیاد تا خیلی زیاد بوده است.

با بررسی نقشه‌های شوری و سدیمی بودن زمین‌ها، سه سری از خاک‌های محل به نام‌های ابوبقال، ام‌القریب و نظامیه که کلاس آن‌ها از نظر شوری و سدیمی بودن قبل از اجرای آزمون‌های آبشویی S_۱-A_۱ (با محدودیت بسیار زیاد شوری و سدیمی بودن) بوده است، برای انجام آزمایش‌های مورد نظر انتخاب گردید. آب مورد نیاز برای آبشویی از رودخانه کارون تأمین و به‌روش غرقاب متناوب و عمق آب کاربردی ۱۰۰ سانتی‌متر (۴ تناوب ۰/۲۵ متری) آزمایش‌ها به انجام رسید.

در این خصوص، شش استوانه مضاعف بر روی محیط دایره‌ای به شعاع ۵ متر و با فواصل ۵ متری از یکدیگر استقرار داده شد. از مرکز فرضی دایره، نمونه‌برداری خاک تا عمق ۱/۵ متری با تواتر ۲۵-۰، ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰، ۱۰۰-۷۵، ۱۲۵-۱۰۰ و ۱۵۰-۱۲۵ سانتی‌متری انجام گرفت. برخی ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک قبل از آبشویی در جدول ۱ ارائه شده است. در این سری آزمایش‌ها در اولین تناوب ۰/۲۵ متر آب آبشویی به کلیه استوانه‌ها اضافه و افت سطح آب در استوانه‌های میانی، در فواصل زمانی مرسوم قرائت، ثبت و سرعت نفوذ پایه اولیه خاک‌ها محاسبه گردید.

1- United State Department of Agriculture (USDA)

2- Typic Haplosalid

در صورت نیاز کسر میزان آب نفوذ یافته تا عمق ۰/۲۵ متر به استوانه‌های داخلی اضافه شد و به فاصله زمانی لازم (۴-۳ روز) پس از نفوذ آب به خاک که امکان نمونه‌برداری از سطح خاک فراهم گردید (درصد میزان رطوبت در حد ظرفیت مزرعه)، از سطح استوانه‌های داخلی و تا عمق آب نفوذ یافته با تواترهای ذکر شده، اقدام به برداشت نمونه‌های خاک شد. پس از برداشت نمونه خاک، حفره ایجاد شده به وسیله لوله پی‌وی‌سی هم قطر مته کاربردی اشغال گردید تا از نشت و فرار آب جلوگیری شود و بخش میانی این قبیل لوله‌ها تا سطح زمین، به وسیله خاک همجوار استوانه‌ها پر و متراکم شد. به‌همین ترتیب، ۰/۲۵ متر دیگر آب به استوانه‌های مضاعف افزوده شد و پس از نفوذ آن نمونه‌برداری خاک به انجام رسید و پس از نفوذ ۰/۵ متر آب و برداشت نمونه‌های خاک پس از نفوذ اولین و دومین تناوب آب کاربردی، سه جفت از استوانه‌های استقرار یافته از برنامه اجرای آزمایش حذف و ادامه امر کاربرد آب آشویی و نمونه‌برداری‌های لازم بعدی یعنی نفوذ ۰/۷۵ و ۱/۰ متر آب با تواترهای گفته شده، از طریق سه جفت استوانه‌های باقی‌مانده، به‌انجام رسید. علاوه بر آن در آخرین تناوب کاربرد آب آشویی (که به‌این‌ترتیب جمع آب کاربردی بالغ بر یک متر می‌شد) نیز سرعت نفوذ آب به خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت تا چگونگی تغییرات سرعت نفوذ پایه خاک‌ها قابل بررسی و مقایسه باشد.

در کلیه حالت‌های قبل و پس از اتمام عملیات آشویی (۴ تناوب ۰/۲۵ متری) نمونه‌برداری خاک در سه تکرار جداگانه به انجام رسید. طی دوره نفوذ هر تناوب آب کاربردی به سطح خاک و نیز در فاصله زمانی بین دو تناوب آب کاربردی (۴-۳ روز به‌عنوان زمان توزیع مجدد رطوبت)، سطح خاک به‌دلیل جلوگیری از تبخیر به‌وسیله ورقه‌های نایلونی پوشیده نگهداری می‌شد. نمونه‌های خاک برای انجام آزمایش‌های لازم در آزمایشگاه مورد تجزیه قرار گرفت. برخی خصوصیات شیمیایی لایه‌های مختلف خاک قبل از آب شویی و بعد از کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آب شویی در جدول ۲ ارائه شده است.

برای دستیابی به مقادیر شوری تعادلی (EC_{eq}) و درصد سدیم تعادلی (ESP_{eq})، پس از نفوذ ۱۰۰ سانتی‌متر آب به سطح خاک، نیز از عمق ۵-۰ سانتی‌متری، نمونه خاک (در سه تکرار) تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید. از آب‌های کاربردی نمونه‌هایی برداشت و تجزیه کامل شیمیایی بر روی آن به انجام رسید که طبقه‌بندی آن بر اساس دیاگرام ویلکاکس C_s-S_1 ، با میزان شوری (EC_w) و

نسبت جذب سدیم ($adj R_{Na}$) به ترتیب $1/37$ دسی زیمنس بر متر و $4/78$ میلی اکی والنت بر لیتر به توان $(0/5)$ بوده است.

در نهایت، با رعایت مبانی علمی و فنی، به طور مقدماتی نسبت به پالایش ارقام و اعداد به دست آمده اقدام و اعداد غیرمنطقی و غیرنرمال (که تعداد آن‌ها نیز قابل توجه نبوده) حذف گردید. سپس نسبت به ترکیب و تلفیق نتایج حاصل از اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای از سه محل انتخابی اقدام شد، به طوری که امکان ارائه توصیه‌های کاربردی و راهکارهای علمی و منطقی امکان‌پذیر باشد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک قبل از آبیوی در منطقه مورد مطالعه*

ردیف	عمق خاک (سانتی‌متر)	میزان رطوبت خاک (درصد وزنی)				کسر رطوبت کل (درصد)	تخلخل خاک** (سانتی‌متر)
		قبل از آبیوی	ظرفیت مزرعه (F.C)	نقطه پژمردگی دائم (P.W.P)	جرم مخصوص ظاهری (گرم برسانی مترمکعب)		
۱	۰-۲۵	۱۲/۳	۳۶/۳	۱۲/۲	۱/۳۹	۴۸/۰	۵/۶
۲	۲۵-۵۰	۱۵/۹	۳۱/۰	۱۱/۷	۱/۵۷	۴۰/۰	۶/۷
۳	۵۰-۷۵	۱۶/۶	۲۳/۰	۱۲/۰	۱/۵۹	۴۰/۰	۷/۷
۴	۷۵-۱۰۰	۱۶/۳	۲۳/۰	۱۱/۸	۱/۴۶	۴۴/۰	۶/۴
۵	۱۰۰-۱۲۵	۱۸/۷	۲۰/۷	۱۰/۶	۱/۶۲	۳۸/۶	۷/۴
۶	۱۲۵-۱۵۰	۱۷/۱	۲۳/۰	۱۲/۳	۱/۵۲	۴۴/۰	۵/۷

* ارقام متن جدول میانگین داده‌های سه تکرار از محل اجرای آزمایش‌ها می‌باشد.

** مقادیر کسر رطوبت تجمعی لایه‌های خاک مندرج در جدول به ترتیب $5/6$ ، $12/3$ ، $20/0$ ، $26/5$ ، $33/8$ و $39/4$ بوده است.

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی لایه‌های مختلف نیرخ خاک، قبل و پس از عملیات آبشویی

درصد سدیم تبادلی (ESP) [*]	نسبت جذب سدیم (SAR)	Na ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ex.Na ⁺	C.E.C	گیج (T.N.V)	آهک	واکنش (pH)	هدایت الکتریکی EC _e (دسی متر) زیمنس بر متر)	عمق شای (سانتی متر)	زمان نمونه‌برداری
۵۲/۵	۳۵/۳	۲۵۳۵/۰	۶۹۶/۰	۵/۵	۱۰/۴	۰/۴۲	۲۹/۲	۷/۲	۱۰۴/۷	۰-۲۵	
۴۱/۲	۳۱/۴	۶۹۶/۰	۲۸۵/۶	۴/۷	۱۱/۶	۰/۸۷	۳۰/۳	۷/۷	۴۰/۹	۲۵-۵۰	
۳۵/۰	۲۸/۳	۴۶۲/۰	۱۷۰/۴	۴/۰	۱۱/۴	۰/۷۷	۳۰/۷	۷/۹	۲۴/۴	۵۰-۷۵	قبل از آبشویی
۳۳/۹	۲۷/۷	۳۵۸/۰	۱۳۲/۸	۴/۲	۱۲/۵	۰/۰۷	۳۲/۶	۸/۰	۳۲/۶	۷۵-۱۰۰	
۳۲/۰	۲۶/۲	۳۳۷/۰	۱۳۲/۴	۳/۰	۱۱/۲	۰/۰۶	۳/۴۳	۷/۹	۳۰/۷	۱۰۰-۱۲۵	
۳۶/۵	۱۹/۶	۳۰۹/۰	۷/۰۱۱	۵/۴	۱۲/۲	۰/۰۰	۷/۴۳	۸/۰	۲۹/۶	۱۲۵-۱۵۰	
۹/۰	۵/۷	۲۰/۷	۲۷/۸	۷/۱	۳/۲۱	۰/۸۲	۰/۹/۰	۷/۸	۳/۳	۰-۲۵	
۷/۶	۸/۴	۲۰/۹	۲۵/۰	۲/۱	۱۱/۱	۰/۲۰	۳۰/۰	۷/۸	۳/۴	۲۵-۵۰	بعد از کاربرد
۲۴/۶	۱۳/۱	۳۴/۴	۸۶/۳	۷/۲	۸/۱۱	۰/۴۰	۳۰/۰	۷/۸	۵/۸	۵۰-۷۵	۱۰۰ سانتی متر آب آبشویی
۳۵/۶	۶/۳	۲۱۵/۵	۵/۴۷	۴/۴	۷/۱۱	۰/۷۰	۷/۳۳	۸/۰	۳/۵	۷۵-۱۰۰	
۳۹/۸	۸/۶	۳۱۰/۰	۳/۴۰۱	۳/۴	۱۱/۰	۰/۷۰	۳/۳۳	۷/۸	۲۶/۴	۱۰۰-۱۲۵	
۴۱/۱	۷/۱	۲۷۷/۰	۱۲۹/۰	۳/۴	۸/۰	۰/۵۰	۶/۴۳	۷/۸	۲۹/۵	۱۲۵-۱۵۰	
۳۸/۵	۳۰/۲	۷۸۳/۰	۲۵۶/۰	۴/۴	۱۱/۵	۰/۷۰	۳۳/۰	۷/۸	۴۳/۸	قبل	میانگین
۲۶/۶	۱۸/۲	۱۴۶/۳	۷۳/۷	۳/۰	۱۱/۴	۰/۹۰	۳۱/۹	۷/۲	۱۴/۰	بعد	
۱۱/۹	۱۲/۰	۶۳۳/۷	۱۸۲/۵	۱/۴	۰/۱	-	۰/۱	۰/۶	۲۹/۸	کاهش	تفاوت
-	-	-	-	-	-	۰/۰۱	-	-	-	افزایش	

* محاسبه شده از رابطه تجربی (ESP = Ex.Na⁺ × 100/CEC) از رقم عوامل اصلی متن جدول میانگین داده‌های سه تکرار از سه محل اجرای آزمایش می‌باشد.

ارقام شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) و درصد سدیم تبادلی مربوط به قبل که حین و پس از آزمون‌های آبتشویی تهیه شده بود پس از بررسی مورد عمل قرار گرفت و برای افق‌های موردنظر در نیم‌رخ خاک یعنی ۰-۲۵، ۰-۵۰، ۰-۷۵، ۰-۱۰۰، ۰-۱۲۵ و ۰-۱۵۰ سانتی‌متری نسبت به محاسبه میانگین وزنی به‌ازای مقادیر متفاوت عمق آب مصرفی اقدام گردید که نتایج در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که در عمل امکان دارد مقداری از آب آبتشویی صرف رفع یا جبران کمبود رطوبت خاک اعماق نمونه‌برداری شده گردد و در فرآیند آبتشویی بی‌اثر باشد. همچنین کاهش میزان شوری با مصرف آب آبتشویی حتی به‌میزان زیاد در لایه‌های سطحی نیم‌رخ خاک منجر به حصول تعادل شیمیایی کامل با آب آبتشویی در کوتاه مدت نخواهد شد. به‌منظور رفع این اشکال براساس مقادیر ارقام میانگین وزنی شوری و درصد سدیم تبادلی و با استفاده از مندرجات جدول‌های ۱ و ۲، نسبت به تهیه رقم‌های شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی به شرح روابط زیر اقدام گردید که نتایج در جدول ۵ ارائه گردیده است.

$$X = [Dlw / Ds] \quad , \quad Y = [(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})] \quad (4)$$

$$X = [Dlw / Ds] \quad , \quad Y = [(ESP_f - ESP_{eq}) / (ESP_i - ESP_{eq})] \quad (5)$$

علایم به‌کار رفته در روابط بالا دارای معانی قبلی می‌باشند.

کاستن مقدار (EC_{eq}) و (ESP_{eq}) از صورت و مخرج کسرهای یادشده (Y) موجب خواهد شد تا نتایج حاصل از عوامل خارجی مؤثر از جمله میزان تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاک، کیفیت آب آبتشویی و شرایط اجرای آزمایش مستقل گردد. بر مبنای رقم‌های شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی به‌دست آمده نسبت به تهیه منحنی‌های شوری و سدیم‌زدایی خاک‌های مورد آزمایش اقدام گردید که موارد در پی ارائه می‌گردد.

با استفاده از نرم‌افزار SPSS، چهار مدل ریاضی (توانی، نمایی، معکوس و لگاریتمی) به ارقام شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی محاسبه شد (Y, X) ، و با معیارهای آماری، ضریب تبیین (R^2)، انحراف استاندارد (S.E) در سطح معنی‌داری ۱ درصد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مناسب‌ترین مدل شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌های مورد آزمون تعیین گردید.

جدول ۳- مقادیر میانگین وزنی شوری اولیه (EC_i) و نهایی عصاره اشباع خاک (EC_f)، قبل و پس از کاربرد مقادیر متفاوت آب آبخویی

عمق نیم‌رخ خاک (سانتی‌متر)	شوری عصاره اشباع خاک قبل از آبخویی، EC_i (دسی‌زیمنس بر متر)	شوری عصاره اشباع خاک پس از کاربرد تناوب‌های مختلف آب آبخویی*				میانگین، EC_f
		$EC_f(100)$	$EC_f(75)$	$EC_f(50)$	$EC_f(25)$	
۱	۱۰۴/۷	۳/۳	۴/۱	۴/۴	۴/۸	۴/۱
۲	۷۲/۸	۳/۴	۴/۳	۵/۲	۷/۵	۵/۱
۳	۶۰/۰	۴/۱	۶/۰	۸/۴	۱۳/۸	۸/۱
۴	۵۳/۲	۶/۹	۱۰/۰	۱۲/۱	۱۹/۰	۱۲/۰
۵	۴۸/۷	۱۰/۸	۱۳/۷	۱۵/۴	۲۱/۶	۱۵/۴
۶	۴۵/۵	۱۳/۹	۱۶/۰	۱۷/۶	۲۳/۱	۱۷/۷

*رقم‌های EC_f متن جدول برحسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

**رقم‌های داخل پرانتز کاربرد مقادیر متفاوت آب آبخویی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر میانگین وزنی درصد سدیم تبدلی اولیه (ESP_i) و نهایی (ESP_f) محلول خاک، قبل و پس از کاربرد مقادیر متفاوت آب آبخویی.

عمق نیم‌رخ خاک (سانتی‌متر)	درصد سدیم تبدلی، قبل از آبخویی، ESP_i	درصد سدیم تبدلی خاک پس از کاربرد تناوب‌های مختلف آب آبخویی*				میانگین (ESP_f)
		$ESP_f(100)$	$ESP_f(75)$	$ESP_f(50)$	$ESP_f(25)$	
۱	۵۲/۵	۹/۰	۸/۴	۹/۶	۱۲/۷	۹/۹
۲	۴۶/۸	۹/۴	۱۰/۹	۱۳/۱	۲۰/۷	۱۳/۵
۳	۴۲/۹	۱۴/۵	۱۸/۳	۱۹/۷	۳۰/۴	۲۰/۷
۴	۴۰/۶	۱۹/۷	۲۶/۰	۲۶/۰	۳۵/۷	۲۶/۹
۵	۳۸/۶	۲۳/۷	۳۰/۳	۲۹/۵	۳۷/۴	۳۰/۲
۶	۳۸/۲	۲۶/۶	۳۳/۸	۳۱/۸	۳۸/۲	۳۲/۶

*رقم‌های ESP_f متن جدول برحسب درصد می‌باشد.

**رقم‌های داخل پرانتز کاربرد مقادیر متفاوت آب آبخویی را نشان می‌دهد.

فائزه رجبزاده و همکاران

جدول ۵- ارقام و اطلاعات مربوط به شوری زدایی و سدیم زدایی خاک های مورد آزمون*

عمق خالص آب آبشویی و نسبت های مربوطه (Y,X) [سدیم زدایی]				عمق خالص آب آبشویی و نسبت های مربوطه (Y,X) [شوری زدایی]				اعماق نیم رخ خاک (سانتی متر)		
۴/۳	۶۹/۳	۴۴/۳	۱۹/۳	Dlw (cm)	۹۴/۳	۶۹/۳	۴۴/۳	۱۹/۳	Dlw (cm)	
۲/۸	۲/۸	۱/۸	۰/۸	X = Dlw/Ds	۳/۸	۲/۸	۱/۸	۰/۸	X = Dlw/Ds	۲۵-۰
۰/۱	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۷	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_1 - ESP_{eq}}$	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	
۸/۲	۶۴/۲	۳۹/۲	۱۴/۲	Dlw (cm)	۸۹/۲	۶۴/۲	۳۹/۲	۱۴/۲	Dlw (cm)	
۰/۸	۱/۳	۰/۸	۰/۳	X = Dlw/Ds	۱/۸	۱/۳	۰/۸	۰/۳	X = Dlw/Ds	۵۰-۰
۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۳۹	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_1 - ESP_{eq}}$	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۸	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	
۴/۶	۵۹/۴	۳۴/۴	۹/۴	Dlw (cm)	۸۴/۶	۵۹/۴	۳۴/۴	۹/۴	Dlw (cm)	
۰/۱	۰/۸	۰/۴	۰/۱	X = Dlw/Ds	۱/۱	۰/۸	۰/۴	۰/۱	X = Dlw/Ds	۷۵-۰
۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۴۰	۰/۶۸	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_1 - ESP_{eq}}$	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۲	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	
۷/۴	۵۵/۴	۳۰/۴	۵/۴	Dlw (cm)	۸۷/۴	۵۵/۴	۳۰/۴	۵/۴	Dlw (cm)	
۰/۸	۰/۵	۰/۳	۰/۰۵	X = Dlw/Ds	۰/۸	۰/۵	۰/۳	۰/۰۵	X = Dlw/Ds	۱۰۰-۰
۰/۴۲	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۸۶	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_1 - ESP_{eq}}$	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۳۳	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	
۰/۷۷	۰/۵۲	۰/۲۷	۲/۰	Dlw (cm)	۰/۷۷	۰/۵۲	۰/۲۷	۲/۰	Dlw (cm)	
۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۰۲	X = Dlw/Ds	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۰۲	X = Dlw/Ds	۱۲۵-۰
۰/۵۷	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۹۶	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_1 - ESP_{eq}}$	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۴۲	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	
۳/۴	۴۸/۴	۲۳/۴	-	Dlw (cm)	۷۳/۴	۴۸/۴	۲۳/۴	-	Dlw (cm)	
۰/۵	۰/۳	۰/۱	-	X = Dlw/Ds	۰/۵	۰/۳	۰/۱	-	X = Dlw/Ds	۱۵۰-۰
۰/۶۶	۰/۸۷	۰/۸۱	-	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_1 - ESP_{eq}}$	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۳۵	-	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	

EC_{eq} = ۲/۲ dS/m , ESP_{eq} = ۴/۲

بر پایه اعداد و ارقام مندرج در جداول ۱، ۳ و ۴

نتایج و بحث

در این پژوهش، مدل‌های شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌ها به‌منظور تهیه بهترین مدل تجربی (ترکیبی) شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌ها بر اساس آزمون‌های مزرعه‌ای، مورد بررسی قرار گرفت. شوری‌زدایی خاک‌ها: نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری و برازش مدل‌های تجربی مختلف به رقم‌های شوری‌زدایی خاک‌های مورد آزمون، در جدول ۶ نشان داد، مدل‌نمایی با داشتن بزرگترین ضریب تبیین ($R^2=0/735$) و خطای استاندارد (S.E) برابر با ۰/۰۶۸ در سطح معنی‌داری ۱ درصد، مناسب‌ترین مدل تجربی شوری‌زدایی خاک‌های محدوده مورد بررسی می‌باشد.

جدول ۶- نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری و برازش مدل‌های مختلف به رقم‌های شوری‌زدایی خاک‌های مورد آزمایش.

ردیف	نام مدل تجربی	رابطه ریاضی	ضرایب ثابت رابطه		آماره‌های مدل		
			a	b	ضریب تبیین (R^2)	خطای استاندارد (S.E)	سطح معنی‌داری (Sig F)
۱	لگاریتمی	$Y=a+b.\ln X$	۰/۰۸۷	-۰/۰۸۹	۰/۶۹۲	۰/۶۶۵	۰/۰۰۰
۲	توانی	$Y=a.X^b$	۰/۰۵۱	-۰/۷۹۰	۰/۷۰۹	۰/۶۴۵	۰/۰۰۰
۳	نمایی	$Y=a.e^{b.X}$	۰/۲۲۲	-۱/۰۴۷	۰/۷۳۵	۰/۰۶۸	۰/۰۰۰
۴	معکوس	$Y=a+\frac{b}{X}$	۰/۱۲۱	۰/۰۰۹	۰/۴۴۵	۰/۱۰۹	۰/۰۰۱

به این ترتیب رابطه برتر زیر را می‌توان ارائه نمود:

$$Y = 0/222 \cdot \exp(-1/0.47 \cdot X) \quad (6)$$

با جایگزینی متغیرهای مربوطه به جای Y, X رابطه، به‌صورت زیر در می‌آید

$$[(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})] = 0/222 \cdot \exp(-1/0.47 \cdot (D_{lw} / D_s)) \quad (7)$$

سپس به‌منظور دقت بیشتر نتایج حاصل از کاربرد "مدل شبیه‌سازی تجربی" ضرایب لازمه یعنی، ضریب راندمان آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک (f) و میزان رطوبت حجمی خاک طی فرایند آبشویی (θ_v) در آن در نظر گرفته شد. به این ترتیب، شکل کامل شده "رابطه یا مدل تجربی شوری‌زدایی خاک‌های محدوده مورد مطالعه" به‌شکل کلی زیر تکمیل و مورد استفاده قرار گرفت:

$$[(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})] = 0/222 \exp[-1/0.47 (f / \theta_v)] / (D_{lw} / D_s) \quad (8)$$

با مشخص بودن سایر متغیرها، عمق خالص آب آبخویی مورد نیاز برای اصلاح خاک را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$D_{lw} = D_s \cdot \ln [(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq}) / 0.222] / [-1/0.47 \cdot (f / \theta_v)] \quad (9)$$

و نیز با استفاده از رابطه ۸، می‌توان میزان شوری نهایی عصاره اشباع خاک را به صورت زیر برآورد نمود:

$$EC_f = [(0.222 \exp (1/0.47 \cdot (D_{lw}/D_s) \cdot (f/\theta_v))) \cdot (EC_i - EC_{eq})] + EC_{eq} \quad (10)$$

علایم به کار رفته در روابط بالا دارای معانی قبلی می‌باشند. ضریب بازده آبخویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک (f) با استفاده از روابط تجربی زیر قابل محاسبه است:

$$r = \frac{D_w}{D_p} \quad (11)$$

$$f = \frac{r \cdot EC_w}{EC_{eq}} \quad (12)$$

که در آن:

r = نسبت عمق ناخالص آب آبخویی (D_w) به عمق خالص آب آبخویی یا تراوشات عمقی ($D_p = D_{lw}$) (سانتی‌متر)، EC_w = مقدار شوری آب آبخویی (دسی‌زیمنس بر متر)، EC_{eq} = شوری نهایی لایه مورد نظر پس از کاربرد مقدار معینی آب آبخویی (دسی‌زیمنس بر متر).

با توجه به این که میزان شوری نهایی مربوط به لایه ۰-۱۰۰ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک [مندرج در جدول ۳] به‌ازاء کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر عمق آب آبخویی برابر ۶/۹۰ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کسر رطوبت لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک قبل از آبخویی [مندرج در جدول ۱] برابر ۲۶/۵۴ سانتی‌متر و شوری آب کاربردی آبخویی برابر ۱/۳۷ دسی‌زیمنس بر متر مشخص شده است؛ ضریب بازده آبخویی با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ به شرح زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$r = \frac{D_w}{D_p} = \frac{100}{73/46} = 1/362$$

$$f = \frac{r \cdot EC_w}{EC_{eq}} = \frac{1/362 \times 1/37}{6/90} = 0/27$$

جدول ۷- موقعیت نقاط انتخابی (سری خاک)، مشخصات فیزیکی و مقادیر رطوبت‌های وزنی و حجمی در حالت‌های متفاوت و مورد نظر.

ردیف	سری خاک مربوطه	مقادیر رطوبت (درصد)		جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	مقادیر درصد رطوبت وزنی در حدود										
		ظرفیت زراعی	ظرفیت دائم		ظرفیت مزرعه	رطوبت بینابینی	رطوبت اشباع	رطوبت کل	ظرفیت مزرعه	رطوبت بینابینی	رطوبت اشباع	رطوبت کل			
۱	ایرفال	۲۴/۲	۱۳/۷۷	۱/۶۶	۱۰/۲۵	۱۷/۱۴	۱۷/۰۲	۲۴/۰۲	۳۴/۲۷	۳۴/۰۲	۱۷/۰۲	۲۸/۴۴	۳۳/۶۶	۳۹/۸۷	۵۶/۸۲
۲	ام القریب	۲۸/۴۰	۱۱/۹۲	۱/۵۰	۱۶/۴۸	۲۲/۴۴	۲۲/۴۴	۲۸/۴۰	۴۴/۸۸	۴۴/۸۸	۲۴/۷۲	۳۳/۶۶	۴۲/۶۰	۶۷/۳۲	
۳	نظامیه	۲۵/۰۷	۱۰/۰۰	۱/۶۱	۱۵/۰۷	۲۰/۰۷	۲۰/۰۷	۲۵/۰۷	۴۰/۱۴	۴۰/۱۴	۲۴/۲۶	۳۲/۳۱	۴۰/۳۶	۶۴/۶۳	
میانگین	حسابی	۲۵/۵۹	۱۲/۲۹	۱/۶۱	۱۳/۳۰	۱۹/۴۵	۱۹/۴۵	۲۵/۵۹	۳۸/۹۰	۳۸/۹۰	۲۱/۳۲	۳۱/۲۵	۴۱/۱۸	۶۲/۴۷	
	هندسی	۲۵/۲۵	۱۲/۲۲	۱/۶۱	۱۲/۸۶	۱۹/۲۳	۱۹/۲۳	۲۵/۲۵	۳۸/۲۵	۳۸/۲۵	۲۰/۸۳	۲۰/۹۸	۴۱/۰۲	۶۱/۹۴	

* میزان رطوبت‌های وزنی و حجمی کل از نقطه پژمردگی دائم تا مقدار درصد اشباع نمونه خاک است.

** ارقام عوامل اصلی متن جدول میانگین سه تکرار (اعمال نمونه برداری، ۱۵۰ - ۰ سانتی متری) می باشد.

ضریب بازده آبخوئی نمک‌های محلول محاسبه شده ($f=0/27$) با بافت سنگین خاک‌های منطقه مورد آزمایش که در منابع معتبر $0/2-0/3$ گزارش شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۲۰۰۶)، همخوانی دارد و این بیانگر منطقی بودن نتایج به دست آمده است. علاوه بر آن، برای استفاده از رابطه تجربی ۸ نیاز به در اختیار داشتن میزان رطوبت حجمی خاک طی فرایند آبخوئی (θ_v) می‌باشد که به این منظور با استفاده از ارقام و اطلاعات موجود نسبت به انجام محاسبات لازم بر روی ارقام مربوطه اقدام گردید که نتایج در جدول ۷ نشان داده شده است.

همچنین، با استفاده از جدول ۳ و ارقام $Y = 100 (EC_f / EC_i)$ و $Y' = 100 - (Y)$ ، که در این روابط: $Y =$ درصد نمک‌های اولیه باقی مانده و $Y' =$ درصد نمک‌های اولیه شسته شده می‌باشند، نسبت به تهیه ارقام جدول ۸ اقدام گردید.

جدول ۸- رابطه بین مقادیر مختلف عمق آب آبخوئی (D_w) کاربردی و تغییرات میزان شوری عصاره اشباع خاک (EC_e).

میانگین EC_e	اعماق مختلف نیم‌رخ خاک، D_s (سانتی‌متر)						درصد نمک اولیه	عمق آب آبخوئی (سانتی‌متر)	ردیف
	۱۵۰-۰	۱۲۵-۰	۱۰۰-۰	۷۵-۰	۵۰-۰	۲۵-۰			
۲۶/۹۱	۵۷/۸۵	۴۶/۳۱	۳۳/۲۲	۱۹/۳۸	۰/۰۹	۴/۶۸	باقی مانده	۲۵	۱
۷۳/۰۹	۴۲/۱۵	۵۳/۶۹	۶۶/۷۸	۸۰/۶۲	۹۹/۹۱	۹۵/۳۲	شسته شده		
۱۵/۶۹	۳۵/۸۱	۲۶/۵۲	۱۷/۱۱	۱۰/۲	۰/۰۷	۴/۴۱	باقی مانده	۵۰	۲
۸۴/۳۱	۶۴/۱۹	۷۳/۴۸	۸۲/۸۹	۸۹/۸	۹۹/۹۳	۹۵/۵۹	شسته شده		
۱۴/۵۸	۳۳/۳۶	۲۴/۳۶	۱۵/۸۴	۹/۷۹	۰/۰۶	۴/۰۵	باقی مانده	۷۵	۳
۸۵/۴۲	۶۶/۶۴	۷۵/۶۴	۸۴/۱۶	۹۰/۲۱	۹۹/۹۴	۹۵/۹۵	شسته شده		
۱۱/۷۰	۲۸/۷۲	۱۶/۳۷	۱۰/۲۶	۷/۰۹	۴/۷۴	۳/۰۶	باقی مانده	۱۰۰	۴
۸۸/۳۰	۷۱/۲۸	۸۳/۶۳	۸۹/۷۴	۹۲/۹۱	۹۵/۲۶	۹۶/۹۴	شسته شده		
۱۷/۲۲	۳۸/۹۳	۲۸/۴۰	۱۹/۱۱	۱۱/۶۱	۱/۲۴	۴/۰۴	باقیمانده	میانگین	
۸۲/۷۸	۶۱/۰۷	۷۱/۶۰	۸۰/۸۹	۸۸/۳۹	۹۸/۷۶	۹۵/۹۶	شسته شده		

بررسی جدول ۸ نمایانگر آن است که کاربرد ۱۰۰ سانتی متر آب، موجب آبشویی ۹۵/۹۶، ۹۸/۷۶، ۸۸/۳۹، ۸۰/۸۹ و ۷۱/۶۰ و ۶۱/۰۷ درصد نمک‌های اولیه از اعماق مربوطه گردیده است. مقدار آب کاربردی محاسبه شده مترادف با ۸/۳، ۴/۵، ۳/۱، ۲/۳، ۱/۹ و ۱/۶ واحد آب منفذی^۱ برای اعماق مربوطه می‌باشد.

سدیم‌زدایی خاک‌ها: به‌همین ترتیب، فرآیند سدیم‌زدایی خاک‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. براساس مندرجات جدول ۹ مدل‌نمایی با داشتن بزرگترین ضریب تبیین ($R^2=0/758$) و خطای استاندارد (S.E) برابر با ۰/۱۴۴ در سطح معنی‌داری ۱ درصد، مناسب‌ترین مدل تجربی سدیم‌زدایی می‌باشد. به‌ین گونه رابطه برتر زیر را می‌توان ارائه نمود:

$$Y = 0/689 \cdot \exp(-0/723 \cdot X) \quad (13)$$

با جایگزینی متغیرهای مربوطه به جای X و Y و با جایگزینی ضرایب راندمان آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک (f) و میزان رطوبت حجمی خاک طی فرایند آبشویی (θ_v) رابطه نهایی به صورت زیر حاصل گردید:

$$[(ESP_f - ESP_{eq}) / (ESP_i - ESP_{eq})] = 0/689 \exp[(-0/723(f/\theta_v)) / (D_{lw}/D_s)] \quad (14)$$

رابطه ۱۴ را به منظور برآورد آب خالص مورد نیاز آبشویی (D_{lw}) و مقدار درصد سدیم تبادلی نهایی (ESP_f) می‌توان به صورت روابط زیر نیز نوشت:

$$D_{lw} = D_s \cdot \ln [(ESP_f - ESP_{eq}) / (ESP_i - ESP_{eq}) / 0/689] / [-0/723 \cdot (f/\theta_v)] \quad (15)$$

$$ESP_f = [(0/689 \exp(-0/723 \cdot (D_{lw}/D_s) \cdot (f/\theta_v))) \cdot (ESP_i - ESP_{eq})] + ESP_{eq} \quad (16)$$

علایم به‌کار رفته در روابط بالا دارای معانی قبلی می‌باشند.

جدول ۹- نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری و برازش مدل‌های مختلف به رقم‌های سدیم‌زدایی خاک‌های مورد آزمایش.

ردیف	نام مدل تجربی	رابطه ریاضی	ضرایب ثابت رابطه		آماره‌های مدل	
			a	b	خطای استاندارد (S.E)	سطح معنی‌داری (Sig F)
۱	لگاریتمی	$Y=a+b.\ln X$	۰/۳۲۶	-۰/۲۰	۰/۴۱۲	۰/۰۰۰
۲	توانی	$Y=a.X^b$	۰/۲۵۱	-۰/۵۲۹	۰/۴۳۳	۰/۰۰۰
۳	نمایی	$Y=a.e^{b.X}$	۰/۶۸۹	-۰/۷۲۳	۰/۱۴۴	۰/۰۰۰
۴	معکوس	$Y=a+\frac{b}{X}$	۰/۳۹۳	۰/۰۱۵	۰/۲۴۰	۰/۰۰۴

همچنین با استفاده از جدول ۴ و ارقام $Y = 100(ESP_f / ESP_i)$ و $Y' = 100 - (Y)$ که در این روابط:

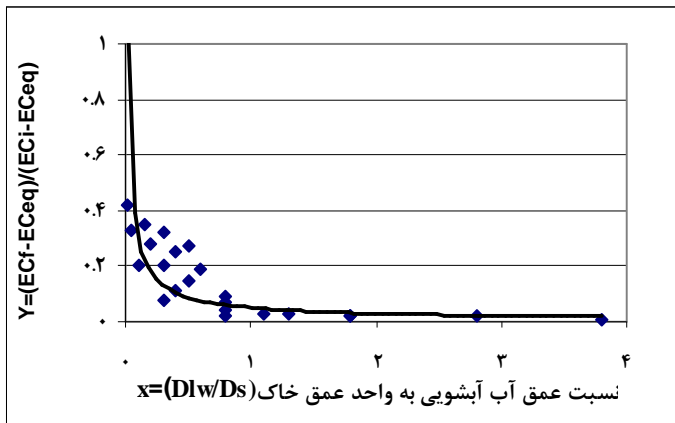
$Y =$ درصد سدیم تبادلی اولیه باقی‌مانده و $Y' =$ درصد سدیم تبادلی اولیه شسته شده می‌باشند، نسبت به تهیه ارقام جدول ۱۰ اقدام گردید.

جدول ۱۰- رابطه بین مقادیر مختلف عمق آب آشویی (D_w) کاربردی و تغییرات میزان درصد سدیم تبادلی خاک (ESP).

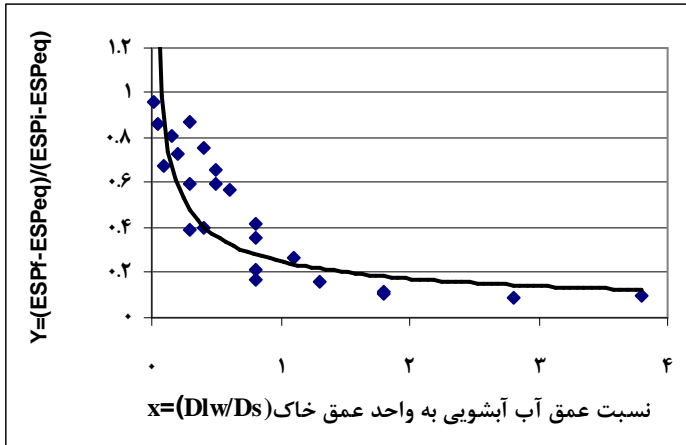
ردیف	عمق آب آشویی (سانتی متر)	اعماق مختلف نیم‌رخ خاک، D_s (سانتی متر)						درصد سدیم تبادلی اولیه	میانگین ESP
		۱۵۰-۰	۱۲۵-۰	۱۰۰-۰	۷۵-۰	۵۰-۰	۲۵-۰		
۱	۲۵	باقیمانده	۲۴/۲	۴۴/۲	۷۰/۹	۸۷/۹	۹۳/۰	۹۶/۱	۶۹/۴
		شسته شده	۷۵/۸	۵۵/۸	۲۹/۱	۱۲/۱	۷/۰	۳/۹	۳۰/۶
۲	۵۰	باقیمانده	۱۸/۳	۲۸/۰	۴۶/۰	۶۴/۰	۷۶/۴	۸۳/۲	۵۲/۶
		شسته شده	۸۱/۷	۷۲/۰	۵۴/۰	۳۶/۰	۲۳/۶	۱۶/۸	۴۷/۴
۳	۷۵	باقیمانده	۱۶/۰	۲۳/۳	۴۲/۶	۶۴/۰	۷۸/۵	۸۷/۵	۵۲/۱
		شسته شده	۸۴/۰	۷۶/۷	۵۷/۴	۳۶/۰	۲۱/۵	۱۱/۵	۴۷/۹
۴	۱۰۰	باقیمانده	۱۷/۱	۲۰/۱	۳۳/۸	۴۸/۵	۶۱/۴	۶۹/۶	۴۱/۷
		شسته شده	۸۲/۹	۷۹/۹	۶۶/۲	۵۱/۵	۳۸/۶	۳۰/۴	۵۸/۳
میانگین		باقیمانده	۱۸/۹	۲۸/۹	۴۸/۲	۶۶/۲	۷۸/۲	۸۴/۳	۵۴/۰
		شسته شده	۸۱/۱	۷۱/۷	۵۱/۸	۳۳/۷	۲۱/۸	۱۵/۷	۴۶/۰

بررسی جدول ۱۰ نمایانگر آن است که کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب، موجب آیشویی ۸۱/۱ و ۷۱/۱، ۵۱/۸، ۳۳/۷، ۲۱/۸ و ۱۵/۷ درصد سدیم تبادلی اولیه از اعماق مربوطه گردیده است. مقدار آب کاربردی محاسبه شده مترادف با ۸/۳، ۴/۵، ۳/۱، ۲/۳، ۱/۹ و ۱/۶ واحد آب منفذی برای اعماق مربوطه می‌باشد.

منحنی‌های شوری زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌ها: با کاربرد روابط ۸ و ۱۴ که بهترین مدل‌های تجربی شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌های محدوده مورد مطالعه می‌باشند، نسبت به ترسیم منحنی‌های شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌های مورد آزمون اقدام به عمل آمد که نتایج در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. با استفاده از این منحنی‌ها، می‌توان عمق خالص آب (D_{iw}) مورد نیاز برای کاهش عملی مقادیر شوری یا درصد سدیم تبادلی خاک را نیز برآورد نمود. مقادیر استخراجی از منحنی‌های به‌دست آمده نیاز خالص آیشویی نمک‌های محلول می‌باشد و به‌منظور برآورد کل میزان آب لازم برای آیشویی (D_w) باید به‌مقادیر کسر رطوبت لایه خاک موردنظر (تا حد ظرفیت مزرعه)، تبخیر (از سطح آب و خاک) و میزان بارندگی نیز توجه نموده و این عوامل فراگیر را در محاسبات و برنامه‌ریزی‌های آیشویی و اصلاح خاک و زمین‌ها در نظر گرفت.



شکل ۱- منحنی شوری‌زدایی خاک‌های مورد آزمون.



شکل ۲- منحنی سدیم زدایی خاک‌های مورد آزمون.

باید یادآور شد که این منحنی‌ها در محدوده نوع خاک، مقادیر شوری و درصد سدیم تبدلی اولیه نیم‌رخ خاک محل اجرای آزمون‌ها می‌تواند کاربرد داشته باشد که حدود تغییرات آن‌ها در این مورد به ترتیب ۱۰۴/۷۷ تا ۲۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر و ۵۲/۵ تا ۳۲/۰ درصد بوده است.

برای تجزیه و تحلیل مدل شوری زدایی ارائه شده (رابطه ۸)، مقایسه‌ای بین مدل به دست آمده و برخی مدل‌های تجربی آیشویی از دیدگاه برآورد مقدار آب مورد نیاز برای آیشویی نمک‌های محلول مطابق جدول ۱۱ انجام شد. در این مقایسه، شوری اولیه تا عمق ۱/۵۰ متری نیم‌رخ خاک برابر ۴۵/۰، شوری نهایی ۸/۰ و میزان شوری تعادلی ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد مدل‌های لافلر و شارما (۱۹۷۷)، هافمن (۱۹۸۰)، پذیرا و کاواچی (۱۹۸۱) و پذیرا و کشاورز (۱۹۹۸) به ترتیب بعد از مدل نوین (رابطه تجربی در این پژوهش) کمترین مقدار آب را برای آیشویی خاک‌ها برآورد می‌نمایند. دیگر مدل‌های مورد مقایسه یعنی مدل‌های ریو (۱۹۵۷)، دیلمان (۱۹۶۳) و ورما و گوپتا (۱۹۸۹) تناسب لازم را درخصوص برآورد آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌های منطقه مورد مطالعه (در مقایسه با کاربرد مدل‌نمایی نوین) نشان نمی‌دهند. دلیل این عدم تناسب، تفاوت ویژگی‌های فیزیکی (بافت و ساختمان)، ویژگی‌های شیمیایی (شوری و درصد سدیم تبدلی اولیه) خاک‌های مورد آزمون و روش اجرای آیشویی در تعیین این روابط می‌باشد. نتایج مشابهی به وسیله پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (لافلر و شارما، ۱۹۷۷؛ پذیرا و کاواچی، ۱۹۸۱).

جدول ۱۱- مقایسه نتایج حاصل از کاربرد مدل‌های تجربی آبشویی خاک‌ها.

رتبه تناسب مدل کاربردی *	میانگین وزنی آب مورد نیاز برای اصلاح خاک (متر)	مقادیر آب مورد نیاز اصلاح خاک (متر)				مشخصات مدل تجربی مورد استفاده		رتبه
		اعماق اصلاحی خاک مورد نظر (D_s)، (متر)				سال ارائه	نام مدل	
۷	۱/۲۲	۱/۶۳	۱/۲۲	۰/۸۳	۰/۴۱	۱۹۵۷	۱	
۸	۱/۵۰	۲/۰۰	۱/۵۰	۱/۰۰	۰/۵۰	۱۹۶۳	۲	
۳	۰/۴۶	۰/۶۱	۰/۴۶	۰/۳۰	۰/۱۵	۱۹۷۷	۳	
۵	۰/۵۵	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۳۷	۰/۱۸	۱۹۸۰	۴	
۴	۰/۵۱	۰/۶۷	۰/۵۱	۰/۳۴	۰/۱۷	۱۹۸۱	۵	
۶	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۱۹	۱۹۸۹	۶	
۲	۰/۳۹	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۱۳	۱۹۹۸	۷	
۱	۰/۳۳	۰/۵۴	۰/۴۰	۰/۲۷	۰/۱۳	۲۰۰۸	۸	

* رتبه تناسب مدل کاربردی بر مبنای ارقام میانگین وزنی آب مورد نیاز برای اصلاح خاک انجام گرفته است.

همچنین برای تسهیل در برآورد مقادیر آب لازم (خالص یا D_{iw}) برای کاهش مقادیر شوری کلاس‌های متفاوت خاک در افق‌های مختلف نیم‌رخ خاک جدول ۱۲ تهیه و به‌عنوان راهنما ارائه گردیده است.

جدول ۱۲- مقادیر آب خالص برای کاهش عملی مقادیر شوری کلاس‌های مختلف نیم‌رخ خاک در اعماق مربوطه (واحد، هزار مترمکعب در هکتار)

کلاس‌های شوری خاک	کلاس‌های شوری خاک قبل از آبشویی نمک‌های محلول											رتبه	
	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}		
پس از آبشویی	اعماق مختلف نیم‌رخ خاک (سانتی متر)												
	۱۵۰-۰	۱۰۰-۰	۵۰-۰	۱۵۰-۰	۱۰۰-۰	۵۰-۰	۱۵۰-۰	۱۰۰-۰	۵۰-۰	۱۵۰-۰	۱۰۰-۰	۵۰-۰	
S_0	۲۴/۷۲	۱۶/۴۸	۸/۲۴	۲۰/۶۴	۱۳/۷۶	۶/۸۸	۱۰/۳۹	۶/۹۳	۳/۴۶	۱/۷۸	۱/۱۹	۰/۵۹	۱
S_1	۹/۸۸	۶/۵۹	۳/۲۹	۵/۵۳	۳/۶۹	۱/۸۴	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۲۰	-	-	-	۲
S_2	۱/۵۷	۱/۰۵	۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۱۳	-	-	-	-	-	-	۳
S_3	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۴

تذکر: در محاسبات جدول بالا، مقدار S_0 معادل ۴۵/۰ دسی زیمنس بر متر و مقدار EC_{eq} برابر با ۲/۲ دسی زیمنس بر متر منظور شده است. شرح علائم به این قرار است: $S_0 < 4$ ، $S_1 = 4-8$ ، $S_2 = 8-16$ ، $S_3 = 16-32$ ، $S_4 > 32$ دسی زیمنس بر متر.

متذکر می‌گردد که موارد سدیم‌زدایی خاک‌های مورد آزمون از نظر روش تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری به‌طور دقیق مشابه مورد شوری‌زدایی خاک‌ها می‌باشد که به‌دلیل مختصر نویسی به این مورد اکتفا شده است.

نتیجه‌گیری

آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های رسوبی، سنگین‌بافت، شور و سدیمی منطقه مورد مطالعه به‌روش غرقاب متناوب، در کاهش نمک‌های محلول به‌خصوص در لایه‌های سطحی نیم‌رخ خاک به‌دلیل تغییرات متناوب میزان رطوبت خاک موثر بوده است.

کاربرد یک متر آب آبشویی که مترادف با ۰/۷۳ متر تراوشات عمقی (آب خالص آبشویی) می‌باشد موجب کاهش ۹۸/۷۶ و ۸۰/۸۹ درصد شوری اولیه (EC_i) و ۷۱/۱ و ۳۳/۷ درصد سدیم تبادلی اولیه (ESP_i) افق‌های ۰/۵ و ۱/۰ متری نیم‌رخ خاک گردید که میزان آب نفوذ یافته به‌ترتیب مترادف با ۴/۵ و ۲/۳ واحد آب منفذی بوده است.

مقادیر آب آبشویی کاربردی و تراوشات عمقی به‌دست آمده به‌ترتیب موجب آبشویی ۸۲/۷۸ و ۴۶/۰ درصد از مقادیر اولیه شوری و درصد سدیم تبادلی نیم‌رخ خاک تا عمق ۱/۰ متری گردید. به‌طوری‌که لایه سطحی خاک تا عمق ۰/۵۰ متری پس از اتمام عملیات آبشویی از نظر کیفی بدون محدودیت شوری و سدیمی بودن و لایه ۰/۵-۰/۷۵ متری دارای محدودیت شوری و سدیمی بودن کمی بوده و در صورتی که آب آبشویی بیشتری به‌مصرف می‌رسید رفع این محدودیت‌ها نیز متصور می‌باشد.

به‌طوری‌که بیان گردید کلاس شوری و سدیمی بودن زمین‌ها قبل از اجرای عملیات آبشویی S_4-A_4 بوده است که پس از اجرای آزمون به S_2-A_2 تغییر یافته است و این نمایانگر امکان آبشویی نمک‌های محلول نیم‌رخ خاک به‌وسیله کاربرد آب آبشویی بدون نیاز به‌مصرف مواد اصلاح‌کننده خاک می‌باشد.

بررسی محاسبات و نتایج حاصل از اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک نشان می‌دهد که سرعت نفوذ پایه اولیه (Ib_i) خاک‌ها برابر ۲۰ میلی‌متر در ساعت و از نظر توصیفی "سریع" و میزان سرعت نفوذ نهایی (Ib_f) مساوی ۲۸ میلی‌متر در ساعت و از نظر توصیفی "خیلی سریع" بوده است. به‌این‌ترتیب، ملاحظه می‌گردد که فرآیند آبشویی خاک‌های شور و سدیمی منطقه مورد مطالعه پیامد کاهش سرعت نفوذ پایه خاک‌ها را در پی نداشته است.

در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در استان خوزستان، به‌روش غرقاب دائم و با شرایط تا حدودی مشابه می‌توان اظهار نمود که چگونگی و نحوه کاهش نمک‌های محلول، هم رویه ولی از نظر دوره زمانی اجرای آزمون‌ها، روش غرقاب متناوب در مقایسه با روش غرقاب دائم بیشتر به‌طول می‌انجامد.

منابع

1. Behzad, M., and Akhond, Ali, A.M. 2002. The desalinization and desodification empirical equations for salt-affected soils in Mollasanis Region-Khuzestan Province. The Scientific Journal of Agriculture, 25:1. (In Persian)
2. Corwin, D.L., Rhoades, J.D., and Simunek, J. 2007. Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. *Agricul. Water Manage*, 90:3.165-180.
3. Cote, C.M., Bristow, K.L., and Ross, P.J. 2000. Increasing the efficiency of solute leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 1100-1106.
4. Dieleman, P.J. 1963. Reclamation of salt- affected soils in Iraq. Veenman, Wageningen, 175p.
5. Droogers, P., Akbari, M., and Torabi, M. 2000. Exploring field scale salinity using simulation modeling, example for Rudasht area, Isfahan Province, Iran. IAERI-IWMI Research Reports 2. 16p.
6. Guideline for application of the empirical and theoretical soil desalinization models. 2006. Publication No. 359, Management and Planning Organization of Iran. (In Persian)
7. Hoffman, G. J. 1980. Guidelines for reclamation of salt- affected soils. P49-64, In: Proceedings of International American Salinity and Water Management, Technical Conference. Juar. Mexico.
8. Konukcu, F., Gowing, G.W., and Rose, D.A. 2005. Dry drainage: A sustainable solution to water logging and salinity problems in irrigation areas. *Agric. Water Manage*. 83:1.1-12.
9. Lal, P., Chippa, B.R. and Arvind, K. 2003. Salt affected soils and crop production, a modern synthesis, AGROBIS (India). 42 -61p.
10. Leffelaar, P.A., and Sharma, P. 1977. Leaching of a highly saline- sodic soil. *Journal of Hydrology*, 32, 203-218.
11. Mahab Ghods Consulting Engineers. 1988. Soil and land reclamation studies, great Karun irrigation project, phase 1, report Volume 7-1.
12. 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 Agricultural Science*. 1:2. (In Persian).

13. Pazira, E., 1997. Study on appropriate of leaching water for soil salt removal from saline and sodic soils of middle part of Khuzestan Province. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2:7. (In Persian).
14. 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.
15. Pazira, E., and Keshavarz, A. 1998. Studies on appropriate depth of leaching water, A case study in South- east part of Khuzestan Province, Iran. *Proceedings of the International Workshop on the Use of Saline and Brackish-Water for Irrigation*, Bali, Indonesia, pp: 328-338.
16. Rajabzadeh, F., Pazira, E., and Mahdian, M.H. 2009. Comparison of three soil salt-leaching methods, in middle part of Khuzestan Province, 11th Iranian Soil Science Congress, Soil Management and Food Security, Gorgan. (In Persian).
17. Reeve, R.C. 1957. The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. *Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage*, Transactions, 5:175-187.
18. Verma, S.K., and Gupta, R.K. 1989. Leaching behavior of saline clay soil under to modes of water application, *Journal of Indian Soc. Soil Sci.*, 37:303-8.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(3), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Studies on appropriate and an empirical model for salt leaching of Saline-Sodic soils of central part of Khuzestan province

***F. Rajabzadeh¹, E. Pazira² and M.H. Mahdian³**

¹Assistant Prof., Islamic Azad University, Shahr-e-Gods Branch, Tehran, ²Associate Prof., Dept. of Soil Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, ³Research Assistant Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO).

Received: 2009-10-28; Accepted: 2011-12-4

Abstract

To determine the appropriate depth of leaching water requirement for Saline-Sodic soil reclamation, some field experiments are recommended. Having the results of such field experiments, the so-called leaching curves will be obtained. These empirical curves will enhance determining the amount of leaching water to reduce the soil salinity and sodicity to desirable levels. The objectives of this study were to conduct such experiments in order to obtain soil Desalination & Desodification curves and to compare the obtained results with some empirical models. Furthermore, it was supposed to determine a new empirical model for the saline-sodic soils in central part of Khuzestan province. In this study, the field experimental results of a heavy texture, Saline-Sodic soils, which was carried out by cylinder infiltrometer are presented. In this regards three different sites were selected in the most saline-sodic parts of the study area for which 1.0 meter depth of leaching water were applied intermittently. The field salt leaching data and calculated values were used to verify a newly proposed empirical model obtained by curve estimation technique. The results indicated that the empirical relationships proposed by Reeve, Dielman and Verma and Gupta can not resemble to the field conditions. However, the empirical relationships introduced by Laffelar and Sharma, Hoffman, Pazira and Kawachi and Pazira and Keshavarez could estimate the depth of required reclamation water 1.5 times more than the newly proposed empirical model. The theoretically calculated values with the proposed exponential model, could well simulate the real experimental data.

Keywords: Desalination; Desodification; Khuzestan Province; Salt leaching; Saline-Sodic soils.

*Corresponding author; Email: faizehrajabzadeh@yahoo.com