مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره سوم، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

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

فائزه رجب‌زاده[1]*، ابراهیم پذیرا[2] و محمدحسین مهدیان[3]

[1]استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهریار- شهر قدس، [2]دانشیار واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، [3]استادیار سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/٤

چکیده

در طرح‌های مطالعاتی بررسی امکانات اصلاح فیزیکو شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی، تعیین میزان آب لازم برای آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های مبتلابه، از طریق آزمون‌های مزرعه‌ای توصیه شده است. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از اجرای این آزمون‌ها، می‌توان نسبت به تهیه و ارائه منحنی‌های آبشویی 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 آبشویی نوعی خاک بسیار شور و سدیمی که از طریق استوانه‌های مضاعف در سه منطقه در محدوده مطالعاتی و با کاربرد ۱/۰ متر آب آب‌شویی با روش غرقاب متناوب به مرحله اجرا در آمده بود، ارائه شده است. ارقام آبشویی مشاهده‌ای و محاسبه شده با چند مدل معروف تجربی، مورد مقایسه قرار گرفت و رابطه نوینی 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

www.SID.ir
Archive of SID

آزمون‌های انجام یافته در محدوده مورد مطالعه تطابق مناسبی ندارند و روابط ارائه شده به‌وسیله لافلر و شارما، هافمن، پذیرا وکاواچی و پذیرا و کشاورز نیز میزان آب مورد نیاز آبشویی 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: آبشویی 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، کلر و بُر مسمومیت‌های 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 آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک و لایه‌ای از آن که اصلاح آن موردنظر است، اقدام می‌گردد. عمق آب لازم برای آبشویی نمک‌ها، بستگی به‌میزان شوری اولیه، بافت و عمق خاک، گیاهان انتخابی در الگوی کشت و روش آبشویی نمک‌های محلول دارد (کروین و همکاران، ۲۰۰۷؛ کناکسا و همکاران، ۲۰۰۵).

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

www.SID.ir

با روش غرقاب دایم به‌علت 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 به کارگیری مقدار مورد نیاز آب آبشویی با کیفیت مناسب، می‌توان نمک‌های اضافی را از نیم‌رخ خاک‌ها آبشویی 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 پیش نیاز موفقیت در برنامه‌های اصلاحی و آبشویی 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 آبشویی و زمان لازم برای انجام عملیات آبشویی اقدام نمود. همچنین در یک مدل مناسب، می‌توان عملیات مدیریتی مختلف را در برنامه آبشویی 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 آبشویی 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. به‌این‌ترتیب، 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 وگوپتا (۱۹۸۹) در ارتباط با تعیین مقدار آب لازم برای آبشویی 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

www.SID.ir

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:

$$[(ECf - ECeq)/(ECi - ECeq)] = ۰/۰۷۶۴ (Dlw / Ds)^{-۰/۸۶۴} \quad (۱)$$

که در آن:

EC_i و EC_f، 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 مهاب 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:

$$[(ECf - ECeq)/(ECi - ECeq)] = ۰/۹۳ \exp(-۰/۹۱ (Dlw / Ds)) \quad (۲)$$

$$[(ESPf - ESPeq)/(ESPi - ESPeq)] = ۰/۴۵ \exp(-۰/۷۸ (Dlw / Ds)) \quad (۳)$$

که در آن:

ESP_i و ESP_f، 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.

www.SID.ir

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 موجـود 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[1] به‌طور عمده سیلتی رسی (SiC) تا رسی سیلتی (CSi) و از نظر طبقه‌بندی تیپیک هاپلوسالید[2] 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، ام القریب و نظامیه که کلاس آن‌ها از نظر شوری و سدیمی بودن قبل از اجرای آزمون‌های آبشویی S_4-A_4 (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 (٤ تناوب ۰/۲۵ متری) آزمایش‌ها به انجام رسید.

در این خصوص، شش استوانه مضاعف بر روی محیط دایره‌ای به‌شعاع 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

www.SID.ir

در صورت نیاز کسر میزان آب نفوذ یافته تا عمق ۰/۲۵ متر به استوانه‌های داخلی اضافه شد و به فاصله زمانی لازم (٤-۳ 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 به‌وسیله 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، به‌وسیله 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 آبشویی 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 آبشویی (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 آبشویی (٤ 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 (٤-۳ 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 تبادلی 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 $C_۳-S_۱$، با میزان شوری (EC_w) و

www.SID.ir

نسبت جذب سدیم ($adj\ R_{Na}$) به‌ترتیب ۱/۳۷ دسی زیمنس بر متر و ٤/۷۸ میلی اکی والنت بر لیتر به توان (۰/۵) بوده است.

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

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

ردیف	عمق خاک (سانتی‌متر)	میزان رطوبت خاک (درصد وزنی)			جرم مخصوص ظاهری (گرم برسانتی مترمکعب)	تخلخل کل (درصد)	کسررطوبت خاک** (سانتی‌متر)
		قبل از آبشویی	ظرفیت مزرعه(F.C)	نقطه پژمردگی دائم (P.W.P)			
۱	۰–۲۵	۱۲/۳	۳٦/۳	۱۲/۲	۱/۳۹	٤۸/۰	۵/٦
۲	۲۵–۵۰	۱۵/۹	۳۱/۰	۱۱/۷	۱/۵۷	٤۰/۰	٦/۷
۳	۵۰–۷۵	۱٦/٦	۲۳/۰	۱۲/۰	۱/۵۹	٤۰/۰	۷/۷
٤	۷۵–۱۰۰	۱٦/۳	۲۳/۰	۱۱/۸	۱/٤٦	٤٤/۰	٦/٤
۵	۱۰۰–۱۲۵	۱۸/۷	۲۰/۷	۱۰/٦	۱/٦۲	۳۸/٦	۷/٤
٦	۱۲۵–۱۵۰	۱۷/۱	۲۳/۰	۱۲/۳	۱/۵۲	٤٤/۰	۵/۷

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

** مقادیر کسر رطوبت تجمعی لایه‌های خاک مندرج در جدول به‌ترتیب ۵/٦، ۱۲/۳، ۲۰/۰، ۲٦/۵، ۳۳/۸ و ۳۹/٤ بوده است.

www.SID.ir

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

زمان نمونه‌برداری	عمق خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (EC_e دسی زیمنس برمتر)	واکنش (pH)	آهک (T.N.V)	گچ	C.E.C	$Ex.Na^+$	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Na^-	نسبت جذب سدیم (SAR)	درصد سدیم تبادلی (ESP*)
				درصد		میلی اکی والنت در صد گرم خاک خشک		میلی اکی والنت در لیتر			
قبل از آبشویی	۰–۲۵	۱۰۴/۷	۷/۲	۲۹/۲	۰/۴۲	۱۰/۴	۵/۵	۶۹۶/۰	۲۵۳۵/۰	۳۵/۳	۵۲/۵
	۲۵–۵۰	۴۰/۹	۷/۷	۳۰/۳	۰/۲۷	۱۱/۶	۴/۸	۲۸۵/۶	۶۹۶/۰	۳۱/۴	۴۱/۲
	۵۰–۷۵	۲۴/۴	۷/۹	۳۰/۷	۰/۱۸	۱۱/۴	۴/۰	۱۷۰/۴	۴۶۲/۰	۲۸/۳	۳۵/۰
	۷۵–۱۰۰	۳۲/۶	۸/۰	۳۲/۶	۰/۰۷	۱۲/۵	۴/۲	۱۳۲/۸	۳۵۸/۰	۲۷/۷	۳۳/۹
	۱۰۰–۱۲۵	۳۰/۷	۷/۹	۳۴/۴	۰/۰۶	۱۱/۲	۳/۶	۱۳۲/۴	۳۳۸/۰	۲۹/۲	۳۲/۰
	۱۲۵–۱۵۰	۲۹/۶	۸/۰	۳۴/۸	۰/۰۹	۱۲/۲	۴/۵	۱۲۰/۸	۳۰۹/۰	۲۹/۱	۳۶/۵
بعد از کاربرد ۱۰۰سانتی‌متر آب آبشویی	۰–۲۵	۳/۳	۷/۹	۲۹/۰	۰/۲۲	۱۲/۳	۱/۱	۲۷/۷	۲۰/۷	۵/۷	۹/۰
	۲۵–۵۰	۳/۴	۷/۹	۳۰/۰	۰/۲۲	۱۱/۶	۱/۲	۲۵/۰	۲۰/۹	۴/۷	۹/۸
	۵۰–۷۵	۵/۷	۷/۹	۳۰/۰	۰/۲۴	۱۱/۲	۲/۸	۳۶/۷	۳۴/۴	۱۳/۶	۲۴/۶
	۷۵–۱۰۰	۱۵/۴	۸/۰	۳۲/۸	۰/۱۹	۱۱/۸	۴/۲	۸۴/۰	۲۱۵/۵	۲۳/۹	۳۵/۶
	۱۰۰–۱۲۵	۲۶/۴	۷/۹	۳۴/۹	۰/۱۵	۱۱/۰	۴/۴	۱۴۰/۴	۳۱۰/۰	۲۹/۷	۳۹/۷
	۱۲۵–۱۵۰	۲۹/۵	۷/۹	۳۴/۶	۰/۱۵	۱۰/۷	۴/۴	۱۲۹/۰	۲۷۶/۰	۳۱/۸	۴۱/۱
میانگین	قبل	۴۳/۸	۷/۸	۳۲/۰	۰/۱۸	۱۱/۵	۴/۴	۲۵۶/۳	۷۸۳/۰	۳۰/۲	۳۸/۵
	بعد	۱۴/۰	۷/۲	۳۱/۹	۰/۱۹	۱۱/۴	۳/۰	۷۳/۸	۱۴۶/۳	۱۸/۲	۲۶/۶
تفاوت	کاهش	۲۹/۸	۰/۶	۰/۱	-	۰/۱	۱/۴	۱۸۲/۵	۶۳۶/۷	۱۲/۰	۱۱/۹
	افزایش	-	-	-	۰/۰۱	-	-	-	-	-	-

* محاسبه شده از رابطه تجزیه‌ای ($ESP = Ex.Na^+ \times 100/CEC$)

** ارقام عوامل اصلی متن جدول میانگین داده‌های سه تکرار از سه محل اجرای آزمایش می‌باشد.

www.SID.ir

ارقام شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) و درصد سدیم تبادلی مربوط به قبل که حین و پس از آزمون‌های آبشویی تهیه شده بود پس از بررسی مورد عمل قرار گرفت و برای افق‌های موردنظر در نیم‌رخ خاک یعنی ۲۵-۰، ۵۰-۰، ۷۵-۰، ۱۰۰-۰، ۱۲۵-۰ و ۱۵۰-۰ سانتی‌متری نسبت به محاسبه میانگین وزنی به‌ازای مقادیر متفاوت عمق آب مصرفی اقدام گردید که نتایج در جدول‌های ۳ و ٤ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که در عمل امکان دارد مقداری از آب آبشویی صرف رفع یا جبران کمبود رطوبت خاک اعماق نمونه‌برداری شده گردد و در فرآیند آبشویی بی‌اثر باشد. همچنین کاهش میزان شوری با مصرف آب آبشویی حتی به‌میزان زیاد در لایه‌های سطحی نیم‌رخ خاک منجر به حصول تعادل شیمیایی کامل با آب‌آبشویی 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.

$$X = [Dlw / Ds] \quad , \quad Y = [(EC_f - EC_{eq}) / (ECi - EC_{eq})] \qquad (٤)$$

$$X = [Dlw / Ds] \quad , \quad Y = [(ESP_f - ESP_{eq}) / (ESP_i - ESP_{eq})] \qquad (٥)$$

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 آبشویی 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.

www.SID.ir

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

ردیف	اعماق نیم‌رخ خاک (سانتی‌متر)	شوری عصاره اشباع خاک قبل از آبشویی، ECi (دسی‌زیمنس بر متر)	شوری عصاره اشباع خاک پس از کاربرد تناوب‌های مختلف آب آبشویی*				
			EC_f (۲۵)	EC_f (۵۰)	EC_f(۷۵)	EC_f (۱۰۰)	میانگین، EC_f
۱	۰ -۲۵	۱۰۴/۷	۴/۸	۴/۴	۴/۱	۳/۳	۴/۱
۲	۰ -۵۰	۷۲/۸	۷/۵	۵/۲	۴/۳	۳/۴	۵/۱
۳	۰ -۷۵	۶۰/۰	۱۳/۸	۸/۴	۶/۰	۴/۱	۸/۱
۴	۰ -۱۰۰	۵۳/۲	۱۹/۰	۱۲/۱	۱۰/۰	۶/۹	۱۲/۰
۵	۰ -۱۲۵	۴۸/۷	۲۱/۶	۱۵/۴	۱۳/۷	۱۰/۸	۱۵/۴
۶	۰ -۱۵۰	۴۵/۵	۲۳/۱	۱۷/۶	۱۶/۰	۱۳/۹	۱۷/۷

*رقم‌های EC_f متن جدول برحسب دسی زیمنس برمتر می‌باشد.

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

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

ردیف	اعماق نیم‌رخ خاک (سانتی‌متر)	درصد سدیم تبادلی، قبل از آبشویی، ESP_i	درصد سدیم تبادلی خاک پس از کاربرد تناوب‌های مختلف آب آبشویی*				
			ESP_f (۲۵)	ESP_f (۵۰)	ESP_f (۷۵)	ESP_f (۱۰۰)	میانگین (ESP_f)
۱	۰ -۲۵	۵۲/۵	۱۲/۷	۹/۶	۸/۴	۹/۰	۹/۹
۲	۰ -۵۰	۴۶/۸	۲۰/۷	۱۳/۱	۱۰/۹	۹/۴	۱۳/۵
۳	۰ -۷۵	۴۲/۹	۳۰/۴	۱۹/۷	۱۸/۳	۱۴/۵	۲۰/۷
۴	۰ -۱۰۰	۴۰/۶	۳۵/۷	۲۶/۰	۲۶/۰	۱۹/۷	۲۶/۹
۵	۰ -۱۲۵	۳۸/۶	۳۷/۴	۲۹/۵	۳۰/۳	۲۳/۷	۳۰/۲
۶	۰ -۱۵۰	۳۸/۲	۳۸/۲	۳۱/۸	۳۳/۸	۲۶/۶	۳۲/۶

*رقم‌های ESP_f متن جدول برحسب درصد می‌باشد.

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

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵- ارقام و اطلاعات مربوط به شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌های مورد آزمون*

اعماق نیم‌رخ خاک (سانتی‌متر)	عمق خالص آب آبشویی و نسبت‌های مربوطه (Y،X) [شوری‌زدایی]				عمق خالص آب آبشویی و نسبت‌های مربوطه (Y،X) [سدیم‌زدایی]			
۲۵-۰	Dlw (cm)	۱۹/۳	۴۴/۳	۶۹/۳	۹۴/۳	Dlw (cm)	۱۹/۳	۴۴/۳	۶۹/۳	۴/۳
	X = Dlw/Ds	۰/۸	۱/۸	۲/۸	۳/۸	X = Dlw/Ds	۰/۸	۱/۸	۲/۸	۲/۸
	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}$	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۹	/۱
۵۰-۰	Dlw (cm)	۱۴/۲	۳۹/۲	۶۴/۲	۸۹/۲	Dlw (cm)	۱۴/۲	۳۹/۲	۶۴/۲	۹/۲
	X = Dlw/Ds	۰/۳	۰/۸	۱/۳	۱/۸	X = Dlw/Ds	۰/۳	۰/۸	۱/۳	/۸
	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}$	۰/۳۹	۰/۲۱	۰/۱۶	/۱۲
۷۵-۰	Dlw (cm)	۹/۴	۳۴/۴	۵۹/۴	۸۴/۶	Dlw (cm)	۹/۴	۳۴/۴	۵۹/۴	۴/۶
	X = Dlw/Ds	۰/۱	۰/۴	۰/۸	۱/۱	X = Dlw/Ds	۰/۱	۰/۴	۰/۸	/۱
	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۲	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۳	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}$	۰/۶۸	۰/۴۰	۰/۳۶	/۲۷
۱۰۰-۰	Dlw (cm)	۵/۴	۳۰/۴	۵۵/۴	۸۸/۴	Dlw (cm)	۵/۴	۳۰/۴	۵۵/۴	۸/۴
	X = Dlw/Ds	۰/۰۵	۰/۳	۰/۵	۰/۸	X = Dlw/Ds	۰/۰۵	۰/۳	۰/۵	/۸
	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۰۹	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}$	۰/۸۶	۰/۶۰	۰/۶۰	/۴۲
۱۲۵-۰	Dlw (cm)	۲/۰	۰/۲۷	۰/۵۲	۰/۷۷	Dlw (cm)	۲/۰	۰/۲۷	۰/۵۲	/۷۷
	X = Dlw/Ds	۰/۰۲	۰/۲	۰/۴	۰/۶	X = Dlw/Ds	۰/۰۲	۰/۲	۰/۴	/۶
	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۱۹	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}$	۰/۹۶	۰/۷۳	۰/۷۶	/۵۷
۱۵۰-۰	Dlw (cm)	–	۲۳/۴	۴۸/۴	۷۳/۴	Dlw (cm)	–	۲۳/۴	۴۸/۴	۳/۴
	X = Dlw/Ds	–	۰/۱	۰/۳	۰/۵	X = Dlw/Ds	–	۰/۱	۰/۳	/۵
	$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	–	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۲۷	$Y = \frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}$	۰/۸۱	۰/۸۷		/۶۶

بر پایه اعداد و ارقام مندرج در جداول۱، ۳ و ۴ — EC_{eq} =۲/۲ dS/m , ESP_{eq} = ۴/۲

Archive of SID

www.SID.ir

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 ٦ نشان داد، مدل‌نمایی با داشتن بزرگترین ضریب تبیین (R^2=۰/۷۳۵) و خطای استاندارد (S.E) برابر با ۰/۰٦۸ در سطح معنی‌داری ۱ درصد، مناسب‌ترین مدل تجربی شوری‌زدایی خاک‌های محدوده مورد بررسی می‌باشد.

جدول ٦- 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)	خطای‌استاندارد (S.E)	سطح‌معنی‌داری (Sig F)
۱	لگاریتمی	$Y=a+b.\ln X$	۰/۰۸۷	-۰/۰۸۹	۰/٦۹۲	۰/٦٦۵	۰/۰۰۰
۲	توانی	$Y=a.X^b$	۰/۰۵۱	-۰/۷۹۰	۰/۷۰۹	۰/٦٤۵	۰/۰۰۰
۳	نمایی	$Y=a.e^{b.X}$	۰/۲۲۲	-۱/۰٤۷	۰/۷۳۵	۰/۰٦۸	۰/۰۰۰
٤	معکوس	$Y=a+\frac{b}{X}$	۰/۱۲۱	۰/۰۰۹	۰/٤٤۵	۰/۱۰۹	۰/۰۰۱

به این‌ترتیب رابطه برتر زیر را می‌توان ارائه نمود:

$$Y = ۰/۲۲۲ \exp(-۱/۰٤۷.X) \quad (٦)$$

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

$$[(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})] = ۰/۲۲۲ \exp(-۱/۰٤۷.(D_{lw}/D_s)) \quad (۷)$$

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. به‌این ترتیب، شکل کامل شده "رابطه یا مدل تجربی شوری‌زدایی خاک‌های محدوده مورد مطالعه" به‌شکل کلی زیر تکمیل و مورد استفاده قرار گرفت:

$$[(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})] = ۰/۲۲۲ \exp[(-۱/۰٤۷(f / \theta_v)) / (D_{lw}/ D_s)] \quad (۸)$$

www.SID.ir

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

$$D_{lw} = Ds \cdot \ln [(EC_{f-} EC_{eq})/(EC_{i} - EC_{eq}) / ۰/۲۲۲] /[-۱/۰٤۷ .(f/ \theta_v)] \quad (۹)$$

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

$$EC_f = [(۰/۲۲۲ \exp (۱/۰٤۷.(D_{lw}/D_s).(f /\theta_v))) .(EC_i - EC_{eq})] + EC_{eq} \quad (۱۰)$$

علایم به‌کار رفته در روابط بالا دارای معانی قبلی می‌باشند.

ضریب بازده آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک (f) با استفاده از روابط تجربی زیر قابل محاسبه است:

$$r = \frac{D_w}{D_p} \quad (۱۱)$$

$$f = \frac{r.ECw}{ECeq} \quad (۱۲)$$

که در آن:

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

با توجه به این که میزان شوری نهایی مربوط به لایه ۱۰۰-۰ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک [مندرج در جدول ۳] به‌ازاء کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر عمق آب آبشویی برابر ٦/۹۰ دسی زیمنس بر متر، میزان کسر رطوبت لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک قبل از آبشویی [مندرج در جدول ۱] برابر ۲٦/٥٤ سانتی‌متر و شوری آب کاربردی آبشویی برابر ۱/۳۷ دسی‌زیمنس بر متر مشخص شده است؛ ضریب بازده آبشویی با استفاده از روابط ۱۱و ۱۲ به شرح زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$r = \frac{D_w}{D_p} = \frac{۱۰۰}{۷۳/۴۶} = ۱/۳٦۲ \qquad f = \frac{r.ECw}{ECeq} = \frac{۱/۳٦۲ \times ۱/۳۷}{٦/۹۰} = ۰/۲۷$$

www.SID.ir

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	درصد اشباع	مقادیر رطوبت (درصد وزنی)		جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی مترمکعب)	مقادیر درصد رطوبت وزنی در حدود				مقادیر درصد رطوبت حجمی در حدود			
			ظرفیت زراعی	پژمردگی دائم		ظرفیت مزرعه	رطوبت بینابینی	رطوبت اشباع	رطوبت کل	ظرفیت مزرعه	رطوبت بینابینی	رطوبت اشباع	رطوبت کل
۱	ابوبقال	۴۸/۰۴	۲۴/۲	۱۳/۷۷	۱/۶۶	۱۰/۲۵	۱۷/۱۴	۲۴/۰۲	۳۴/۲۷	۱۷/۰۲	۲۸/۴۴	۳۹/۸۷	۵۶/۷۲
۲	ام القریب	۵۶/۸۰	۲۸/۴۰	۱۱/۹۲	۱/۵۰	۱۶/۴۸	۲۲/۴۴	۲۸/۴۰	۴۴/۸۸	۲۴/۷۲	۳۳/۶۶	۴۲/۶۰	۶۷/۳۲
۳	نظامیه	۵۰/۱۴	۲۵/۰۷	۱۰/۰۰	۱/۶۱	۱۵۶/۰۷	۲۰/۰۷	۲۵/۰۷	۴۰/۱۴	۲۴/۲۶	۳۲/۳۱	۴۰/۳۶	۶۴/۶۳
میانگین	حسابی	۵۱/۱۹	۲۵/۵۹	۱۲/۲۹	۱/۶۱	۱۳/۳۰	۱۹/۴۵	۲۵/۵۹	۳۸/۹۰	۲۱/۳۲	۳۱/۲۵	۴۱/۱۸	۶۲/۴۷
	هندسی	۵۰/۹۱	۲۵/۴۵	۱۲/۲۲	۱/۶۱	۱۲/۸۶	۱۹/۲۳	۲۵/۴۵	۳۸/۴۵	۲۰/۷۳	۲۰/۹۸	۴۱/۰۲	۶۱/۹۴

* میزان رطوبت های وزنی و حجمی کل از نقطه پژمردگی دائم تا مقدار درصد اشباع نمونه خاک است.
** ارقام عوامل اصلی متن جدول میانگین سه تکرار (اعماق نمونه برداری، ۱۵۰- ۰ سانتی متری) می باشد.

www.SID.ir

ضریب بازده آبشویی نمک‌های محلول محاسبه شده (f=۰/۲۷) با بافت سنگین خاک‌های منطقه مورد آزمایش که در منابع معتبر ۰/۲–۰/۳گزارش شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۲۰۰۶)، هم‌خوانی دارد و این بیانگر منطقی بودن نتایج به‌دست آمده است. علاوه برآن، برای استفاده از رابطه تجربی ۸ نیاز به در اختیار داشتن میزان رطوبت حجمی خاک طی فرایند آبشویی (θ_v) می‌باشد که به‌این 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 باقی‌مانده و $Y'\%$ = درصد نمک‌های اولیه شسته شده می‌باشند، نسبت به تهیه ارقام جدول ۸ اقدام گردید.

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

ردیف	عمق آب آبشویی (سانتی‌متر)	درصد نمک اولیه	اعماق مختلف نیم‌رخ خاک، D_s (سانتی‌متر)					میانگین EC_e
			۰–۲۵	۰–۵۰	۰–۷۵	۰–۱۰۰	۰–۱۲۵	۰–۱۵۰	
۱	۲۵	باقی‌مانده	٤/٦٨	۰/۰۹	۱۹/۳۸	۳۳/۲۲	٤٦/۳۱	۵۷/۸۵	۲٦/۹۱
		شسته شده	۹۵/۳۲	۹۹/۹۱	۸۰/٦۲	٦٦/۷۸	۵۳/٦۹	٤۲/۱۵	۷۳/۰۹
۲	۵۰	باقی‌مانده	٤ /٤۱	۰/۰۷	۱۰/۲	۱۷/۱۱	۲٦/۵۲	۳۵/۸۱	۱۵/٦۹
		شسته شده	۹۵/۵۹	۹۹/۹۳	۸۹/۸	۸۲/۸۹	۷۳/٤۸	٦٤/۱۹	۸٤/۳۱
۳	۷۵	باقی‌مانده	٤/۰۵	۰/۰٦	۹/۷۹	۱۵/۸٤	۲٤/۳٦	۳۳/۳٦	۱٤/۵۸
		شسته شده	۹۵/۹۵	۹۹/۹٤	۹۰/۲۱	۸٤/۱٦	۷۵/٦٤	٦٦/٦٤	۸۵/٤۲
٤	۱۰۰	باقی‌مانده	۳/۰٦	٤/۷٤	۷/۰۹	۱۰/۲٦	۱٦/۳۷	۲۸/۷۲	۱۱/۷۰
		شسته شده	۹٦/۹٤	۹۵/۲٦	۹۲/۹۱	۸۹/۷٤	۸۳/٦۳	۷۱/۲۸	۸۸/۳۰
میانگین		باقیمانده	٤/۰٤	۱/۲٤	۱۱/٦۱	۱۹/۱۱	۲۸/٤۰	۳۸/۹۳	۱۷/۲۲
		شسته شده	۹۵/۹٦	۹۸/۷٦	۸۸/۳۹	۸۰/۸۹	۷۱/٦۰	٦۱/۰۷	۸۲/۷۸

www.SID.ir

بررسی جدول ۸ نمایانگر آن است که کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب، موجب آبشویی ۹۵/۹۶، ۹۸/۷۶، ۸۸/۳۹، ۸۰/۸۹، ۷۱/۶۰و ۶۱/۰۷ درصد نمک‌های اولیه از اعماق مربوطه گردیده است. مقدار آب کاربردی محاسبه شده مترادف با ۸/۳، ٤/٥، ۳/۱، ۲/۳، ۱/۹و ۱/٦ واحد آب منفذی[1] 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=۰/۷۵۸) و خطای استاندارد (S.E) برابر با ۰/۱٤٤ در سطح معنی‌داری ۱ درصد، مناسب‌ترین مدل تجربی سدیم‌زدایی می‌باشد. به‌این گونه رابطه برتر زیر را می‌توان ارائه نمود:

$$Y = ۰/٦۸۹ .\exp(-۰/۷۲۳.X) \qquad (۱۳)$$

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:

$$[(ESP_f - ESP_{eq})/(ESP_i - ESP_{eq})] = ۰/٦۸۹\exp[(-۰/۷۲۳(f/\theta_v))/(D_{lw}/D_s)] \qquad (۱٤)$$

رابطه ۱٤ را به منظور برآورد آب خالص مورد نیاز آبشویی(D_{lw}) و مقدار درصد سدیم تبادلی نهایی (ESP_f) می توان به صورت روابط زیر نیز نوشت:

$$D_{lw} = Ds.\ln[(ESP_f - ESP_{eq})/(EPS_i - ESP_{eq})/۰/٦۸۹]/[-۰/۷۲۳ .(f/\theta_v)] \qquad (۱٥)$$

$$ESP_f = [(۰/٦۸۹\exp(-۰/۷۲۳.(D_{lw}/D_s).(f/\theta_v))) .(ESP_i - ESP_{eq})] + ESP_{eq} \qquad (۱٦)$$

علایم به‌کار رفته در روابط بالا دارای معانی قبلی می‌باشند.

1. Pore Volume

www.SID.ir

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	ضریب تبیین (R^2)	خطای‌استاندارد (S.E)	سطح‌معنی‌داری (Sig F)
۱	لگاریتمی	$Y=a+b.\ln X$	۰/۳۲٦	-۰/۲۰	۰/۷۳٦	۰/٤۱۲	۰/۰۰۰
۲	توانی	$Y=a.X^{b}$	۰/۲۵۱	-۰/۵۲۹	۰/۷۰۸	۰/٤۳۳	۰/۰۰۰
۳	نمایی	$Y=a.e^{b.X}$	۰/٦۸۹	-۰/۷۲۳	۰/۷۵۸	۰/۱٤٤	۰/۰۰۰
٤	معکوس	$Y=a+\frac{b}{X}$	۰/۳۹۳	۰/۰۱۵	۰/۳۲۸	۰/۲٤۰	۰/۰۰٤

همچنین با استفاده از جدول ٤ و ارقام $Y\ \% = ۱۰۰(ESP_f / ESP_i)$ ٪ و $Y'\% = ۱۰۰ - (\%\ Y)$٪، 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.

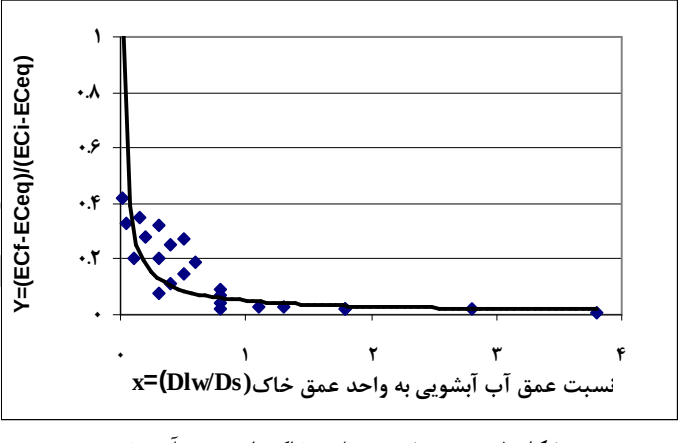
جدول ۱۰- رابطه بین مقادیر مختلف عمق آب آبشویی (D_w) کاربردی و تغییرات میزان درصد سدیم تبادلی خاک (ESP).

ردیف	عمق آب آبشویی (سانتی متر)	درصد سدیم تبادلی اولیه	اعماق مختلف نیم‌رخ خاک، D_s (سانتی‌متر)					میانگین ESP
			۰-۲۵	۰-۵۰	۰-۷۵	۰-۱۰۰	۰-۱۲۵	۰-۱۵۰	
۱	۲۵	باقیمانده	۲٤/۲	٤٤/۲	۷۰/۹	۸۷/۹	۹۳/۰	۹٦/۱	٦۹/٤
		شسته شده	۷۵/۸	۵۵/۸	۲۹/۱	۱۲/۱	۷/۰	۳/۹	۳۰/٦
۲	۵۰	باقیمانده	۱۸/۳	۲۸/۰	٤٦/۰	٦٤/۰	۷٦/٤	۸۳/۲	۵۲/٦
		شسته شده	۸۱/۷	۷۲/۰	۵٤/۰	۳٦/۰	۲۳/٦	۱٦/۸	٤۷/٤
۳	۷۵	باقیمانده	۱٦/۰	۲۳/۳	٤۲/٦	٦٤/۰	۷۸/۵	۸۸/۵	۵۲/۱
		شسته شده	۸٤/۰	۷٦/۷	۵۷/٤	۳٦/۰	۲۱/۵	۱۱/۵	٤۷/۹
٤	۱۰۰	باقیمانده	۱۷/۱	۲۰/۱	۳۳/۸	٤۸/۵	٦۱/٤	٦۹/٦	٤۱/۷
		شسته شده	۸۲/۹	۷۹/۹	٦٦/۲	۵۱/۵	۳۸/٦	۳۰/٤	۵۸/۳
میانگین		باقیمانده	۱۸/۹	۲۸/۹	٤۸/۲	٦٦/۲	۷۸/۲	۸٤/۳	۵٤/۰
		شسته شده	۸۱/۱	۷۱/۷	۵۱/۸	۳۳/۷	۲۱/۸	۱۵/۷	٤٦/۰

Archive of SID
www.SID.ir

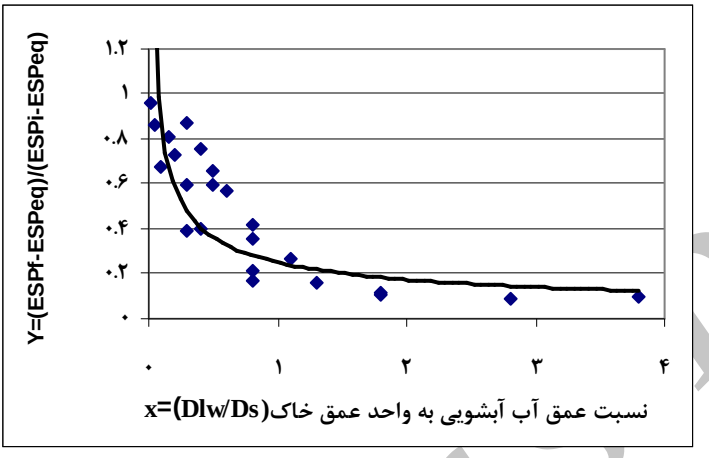
بررسی جدول ۱۰ نمایانگر آن است که کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب، موجب آبشویی ۸۱/۱، ۷۱/۱، ۵۱/۸، ۳۳/۷، ۲۱/۸ و۱۵/۷ درصد سدیم تبادلی اولیه از اعماق مربوطه گردیده است. مقدار آب کاربردی محاسبه شده مترادف با ۸/۳، ٤/٥، ۳/۱، ۲/۳، ۱/۹و۱/٦ واحد آب منفذی برای اعماق مربوطه می‌باشد.

منحنی‌های شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک‌ها: با کاربرد روابط ۸ و ١٤ 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_{lw}) مورد نیاز برای کاهش عملی مقادیر شوری یا درصد سدیم تبادلی خاک را نیز برآورد نمود. مقادیر استخراجی از منحنی‌های به‌دست آمده نیاز خالص آبشویی نمک‌های محلول می‌باشد و به‌منظور برآورد کل میزان آب لازم برای آبشویی (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 برنامه‌ریزی های آبشویی و اصلاح خاک و زمین‌ها در نظر گرفت.



شکل ۱- منحنی شوری‌زدایی خاک‌های مورد آزمون.

www.SID.ir



شکل ۲- منحنی سدیم‌زدایی خاک‌های مورد آزمون.

باید یادآور شد که این منحنی‌ها در محدوده نوع خاک، مقادیر شوری و درصد سدیم تبادلی اولیه نیم‌رخ خاک محل اجرای آزمون‌ها می‌تواند کاربرد داشته باشد که حدود تغییرات آن‌ها در این مورد به‌ترتیب ۱۰٤/۷۷ تا ۲۹/٦ دسی‌زیمنس بر متر و ۵۲/۵ تا ۳۲/۰ درصد بوده است.

برای تجزیه و تحلیل مدل شوری‌زدایی ارائه شده (رابطه ۸)، مقایسه‌ای بین مدل به‌دست آمده و برخی مدل‌های تجربی آبشویی از دیدگاه برآورد مقدار آب مورد نیاز برای آبشویی نمک‌های محلول مطابق جدول ۱۱ انجام شد. در این مقایسه، شوری اولیه تا عمق ۱/۵۰ متری نیم‌رخ خاک برابر ٤۵/۰، 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) به‌ترتیب بعد از مدل نوین (رابطه تجربی در این پژوهش) کمترین مقدار آب را برای آبشویی خاک‌ها برآورد می‌نمایند. دیگر مدل‌های مورد مقایسه یعنی مدل‌های ریو (۱۹۵۷)، دیلمان (۱۹٦۳) 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 تبادلی اولیه) خاک‌های مورد آزمون و روش اجرای آبشویی در تعیین این روابط می‌باشد. نتایج مشابهی به‌وسیله پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (لافلر و شارما، ۱۹۷۷؛ پذیرا و کاواچی، ۱۹۸۱).

www.SID.ir

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

ردیف	مشخصات مدل تجربی مورد استفاده		مقادیر آب مورد نیاز اصلاح خاک (متر) اعماق اصلاحی خاک مورد نظر (D_s)، (متر)				میانگین وزنی آب مورد نیاز برای اصلاح خاک (متر)	رتبه تناسب مدل‌کاربردی *
	نام مدل	سال ارائه	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۷۵	۱/۰۰		
۱	ریو	۱۹۵۷	۰/۴۱	۰/۸۳	۱/۲۲	۱/۶۳	۱/۲۲	۷
۲	دیلمان	۱۹۶۳	۰/۵۰	۱/۰۰	۱/۵۰	۲/۰۰	۱/۵۰	۸
۳	لافلر و شارما	۱۹۷۷	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۴۶	۰/۶۱	۰/۴۶	۳
۴	هافمن	۱۹۸۰	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۵۵	۰/۷۴	۰/۵۵	۵
۵	پذیرا و کاواچی	۱۹۸۱	۰/۱۷	۰/۳۴	۰/۵۱	۰/۶۷	۰/۵۱	۴
۶	ورما و کوپتا	۱۹۸۹	۰/۱۹	۰/۳۹	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۵۸	۶
۷	پذیرا و کشاورز	۱۹۹۸	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۳۹	۰/۵۱	۰/۳۹	۲
۸	رابطه نوین	۲۰۰۸	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۴۰	۰/۵۴	۰/۳۳	۱

* 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_{lw}) 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)

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

تذکر: در محاسبات جدول بالا، مقدار S_4 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<۴ ، S_1=۸-۴ ، S_2=۱۶-۸ ، S_3=۳۲-۱۶ و S_4>۳۲ دسی زیمنس بر متر.

www.SID.ir

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 ٤/٥ و ۲/۳ واحد آب منفذی بوده است.

مقادیر آب آبشویی کاربردی و تراوشات عمقی به‌دست آمده به‌ترتیب موجب آبشویی ۸۲/۷۸ و ٤٦/۰ 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 $S_٤-A_٤$ بوده است که پس از اجرای آزمون به $S_٢-A_٢$ 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 "خیلی‌سریع" 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.

www.SID.ir

در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در استان خوزستان، به‌روش غرقاب دایم 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 دایم 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. Joural 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).

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir

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. Rajabzadeh[1], E. Pazira[2] and M.H. Mahdian[3]**
[1]Assistant Prof., Islamic Azad University, Shahr-e-Gods Branch, Tehran, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, [3]Research 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 Desalinization & 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 infilterometer 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 valves were used to verify a newly proposed empirical model obtained by curve estimation technique. The results indicated that the empirical relationships proposed by Revee, 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: Desalinization; Desodification; Khuzestan Province; Salt leaching; Saline-Sodic soils.

*Corresponding author; Email: faizehrajabzadeh@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir