بررسی روند آبشویی درخاک‌های شور و سدیمی و ارائه مدل تجربی مناسب، جهت اصلاح خاک در اراضی جنوب خوزستان

منصور سرخه نژاد*[۱] و مهدی دهقان[۲]

۱)کارشناس ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

۲) کارشناس ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

* **نویسنده مسئول مکاتبات**: M_sorkheh1@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۵/۲۶ **تاریخ پذیرش:۹۰/۰۷/۳۰**

چکیده

در مناطقی نظیر جنوب خوزستان، که سطح ایستابی بالا می‌باشد، در اثر حرکت صعودی، آب از طریق لوله‌های موئینه‌ای و تبخیر آن، املاح به سطح خاک منتقل و موجب شور و یا شور و سدیمی‌شدن خاک می‌گردند. آبشویی، یکی از روش‌های اصلاح این گونه خاک‌ها است. به منظور بررسی روند آبشویی و رسم منحنی‌های شوری و سدیم زدایی خاک‌های شور و سدیمی منطقه دارخوین شادگان، تحقیقی در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی، انجام گرفت که شامل چهار تیمار با کاربرد ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی متر آب، جهت آبشویی درسه تکرار بود. در این تحقیق، آبشویی به روش غرقابی‌دائم و در کرت‌های آزمایشی، به صورت کرت فلزی به ابعاد ۱×۱ متر انجام گرفت. نتایج نشان داد، آبشویی تا عمق یک متری نیم‌رخ خاک، با ۱۰۰ سانتی‌متر آب باعث کاهش شوری(EC_e) و درصد سدیم تبادلی(ESP) به ترتیب به میزان ۷۴ و۵۰ درصد گردید. مقایسه نتایج شوری و سدیم زدایی آزمون‌های مزرعه ای با مدل‌های تجربی، نشان داد که مدل معکوس-جدید، نسبت به مدل‌های تجربی دیگر، برازش بهتری با داده‌های مزرعه‌ای دارد و پس از آن به ترتیب مدل‌های ریو،هافمن، پذیرا و کاواچی و لفلار و شارما قرار دارند. در نهایت با استفاده از معادله معکوس‌جدید، اقدام به رسم منحنی‌های شوری و سدیم‌زدایی گردید.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، غرقابی دائم، شوری زدایی، سدیمی زدایی.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

تجمع و تراکم املاح، در نیم‌رخ خاک‌ها، بر روی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آنها از قبیل فشار اسمزی، نفوذ پذیری و هدایت آبی، آن‌چنان اثری باقی می‌گذارد که رشد و نمو گیاهان زراعی ممکن است دچار اختلال جدی گردیده و یا کاملاً متوقف گردد. از طرفی با توجه به جمعیت رو به افزایش بشر و بالا رفتن سطح استاندارد زندگی جهانی، این امر، نیاز به تولید محصولات و فرآورده‌های کشاورزی بیشتر را اجتناب ناپذیر ساخته است. به همین سبب هر روز زمین‌های بیشتری زیر کشت قرار گرفته و آب‌های بیشتری مهار می‌گردد که در نتیجه آن، با رشد جمعیت و توسعه کشاورزی، اراضی زیادی از حالت طبیعی خود خارج و با شور و قلیایی شدن، فرسایش و ماندابی، بهره وری خود را از دست داده‌اند. این پدیده در مناطق خشک و نیمه خشک، با گرایش خاک‌ها به سمت شور و سدیمی شدن، بیشتر خود را نشان داده است.

گرایش خاک‌های شور به سمت سدیمی شدن، به دلیل عدم اعمال مدیریت صحیح بر امر آبیاری، در خاک‌های با زهکشی ضعیف می‌باشد. آبیاری این اراضی باعث انتقال نمک به ناحیه رشد ریشه شده و در نتیجه باعث افزایش فشار اسمزی و کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاه و کاهش محصول می‌شود. در مناطقی که سطح ایستابی بالا و کیفیت آب‌های زیر زمینی پایین باشد، در اثر حرکت صعودی آب از طریق لوله‌های موئینه‌ای و تبخیر آب، املاح، به سطح خاک منتقل و موجب شور و یا شور و سدیمی شدن خاک می‌گردند. بنابراین با توجه به اهمیت خاک، به عنوان بهترین بستر برای رشد و نمو گیاه و نیز مهم‌ترین منبع تأمین نیاز غذایی بشر، اصلاح خاک‌های‌شور و سدیمی، امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. به منظور اصلاح این‌گونه خاک‌ها، با کاربرد مقادیر متفاوت آب آبشویی و تهیه نمونه‌های متعدد آب و خاک، تغییرات میزان املاح، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به کوشش‌های فراوان انجام شده و نیز استفاده از روش‌ها و آزمایش‌های مختلف، به منظور اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و سدیمی‌توسط کارشناسان، محققین و مهندسین مشاور، کلیه آزمایش‌هایی که در خاک‌های شور و سدیمی خوزستان انجام شده است، همگی در نتایج آبشویی به عنوان تنها راه اصلاح خاک‌های شور و سدیمی استان وحدت نظر دارند. هر چند میزان آب و شیوه اضافه نمودن آن به اراضی ممکن است در خاک‌های مختلف متفاوت باشد. بر همین اساس، کلیه برنامه‌های اصلاحی اراضی در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی استان خوزستان، با آبشویی صورت گرفته است (بذر افکن، ۱۳۷۵).

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه آبشویی خاک‌های شور و سدیمی انجام شده است. اما با توجه به تغییرات زیاد خصوصیات خاک در مناطق مختلف، اکثر نتایج حاصل از مناطق دیگر، بطور مستقیم قابل استفاده در یک منطقه خاص نبوده و باید قبل از استفاده از آنها با استفاده از آزمون‌های منطقه‌ای، صحت کارکرد آنها را برای منطقه مورد نظر بررسی کرد (برزگر، ۱۳۸۷). در سال‌های اخیر، محققین با بررسی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی که در آبشویی و انتقال املاح موثرند، مدل‌هایی که مبتنی بر روابط بین متغیرهای مربوطه می‌باشد را به صورت معادلات ریاضی و روابط نظری و تجربی ارائه نموده‌اند. پژوهش‌هایی توسط Dielema در سال ۱۹۶۳و Miller و همکاران در سال ۱۹۶۵ در زمینه تحرک و توزیع شاخص‌های شوری و سدیمی، بودن در نیمرخ خاک‌ها انجام گردید. رابطه تجربی-نظری دیلمان به صورت زیر ارائه شده است:

$$Di_w = D_S \cdot \left[ln \frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}} \right]$$

Archive of SID

www.SID.ir

در سال‌های بعد Leffelaar وSharma در سال ۱۹۷۷ و Kawachi and Pazira در سال۱۹۸۱ در رابطه با تهیه منحنی‌های شوری زدایی و سدیم زدایی انواع خاک‌های شور و سدیمی تحقیق نمودند که نتایج آنها به شکل زیر ارائه شد:

رابطه تجربی Leffelaar وSharma (۱۹۷۷):

$$Di_w = D_S \frac{0.062}{\left[\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} - 0.034\right]}$$

رابطه تجربی پذیرا و Kawachi (۱۹۸۱):

$$Di_w = D_S \frac{0.076}{\left[\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} - 0.023\right]}$$

در معادلات فوق Di_w عمق خالص آب آبشویی و میزان آبی است که پس از تأمین کسر رطوبت خاک لایه مربوطه، به طریق ثقلی و به صورت تراوش‌های عمقی، از ستون خاک لایه مربوطه خارج می‌شود و EC_{eq} مقدارهدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک است که با آب آبیاری(آبشویی)، به تعادل می‌رسد که مقدار آن، برابر با کمترین میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک است که در لایه سطحی (۵-۰سانتی‌متری) نیم‌رخ خاک و پس از نفوذ کل عمق آب آبشویی مورد نظر، حاصل می‌شود. D_S عمق خاک مورد مطالعه می باشد.

در این تحقیق، تهیه و ارائه ارقام آبشویی به روش غرقابی دائم، در خصوص شوری زدایی و سدیم زدایی در قسمتی از اراضی جنوب استان خوزستان، مد نظر بوده تا بر مبنای نتایج حاصل بتوان نسبت به اصلاح و بهسازی خاک‌های منطقه اقدام نمود.

مواد و روش‌ها

دشت شادگان در جنوب استان خوزستان در محدوده جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و۳۰ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیم، خشک و نیمه خشک بوده که تابستان‌های طولانی و زمستان‌های معتدل دارد. بافت خاک این اراضی، تا عمق ۱/۵ متری، به طور کلی نسبتاً سنگین و لومی رسی تا لومی سیلتی می‌باشد. عمق سطح ایستابی تا سطح زمین، ۱/۵ متر و ضریب آبگذری آن، ۰/۳ متر در روز می‌باشد. لایه نفوذ ناپذیر، در عمق ۲/۵ متری از سطح زمین قرار دارد. نفوذ پذیری خاک، "خیلی آهسته" می‌باشد. بخش قابل ملاحظه‌ای از اراضی منطقه، دارای مسائل شوری و سدیک، در حد متوسط تا زیاد می باشد. منبع تأمین آب منطقه مورد مطالعه، رودخانه کارون می‌باشد. مشخصات شیمایی آب کاربردی آبشویی در جدول (۱) ارائه شده است. نقشه طرح آزمایش به روش زیر می باشد.

بلوک ۱	بلوک ۲	بلوک ۳
E	C	D
B	A	B
D	E	A
A	B	C
C	D	E

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: مشخصات شیمیایی آب کاربردی در آزمایش‌های آبشویی

pH	EC (ds/m)	T.D.S (mg/lit)	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	مجموع کاتیون‌ها	So_4^{2-}	Cl^-	Hco_3^-	مجموع آنیون‌ها	SAR	طبقه بندی براساس نمودار ویل کاکس
			(meq/lit)									
۷/۳	۲/۳۷	۱۵۷۲	۱۳	۹	۷	۲۹	۹	۱۶	۲/۵	۲۷/۵	۴/۶	C_4-S_1

روش آبشویی اعمال شده در این طرح، به صورت "غرقابی دائم" در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی، با چهار تیمار آبشویی ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در سه تکرار بود. جهت اجرای طرح و اعمال تیمارهای آبشویی، از کرت‌های فلزی به ابعاد ۱×۱ متر استفاده شد. عمق مورد نظر آبشویی املاح از خاک، یک متر در نظر گرفته شد و بر این اساس نمونه برداری از خاک، تا عمق یک متری و در عمق‌های ۲۵ - ۰، ۵۰ – ۲۵، ۷۵ – ۵۰ و ۱۰۰ – ۷۵ سانتی‌متری انجام شد. قبل از آبشویی، در سه نقطه از طرح وبه طور تصادفی در چهار عمق مذکور از خاک، نمونه برداری شده و جهت تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، به آزمایشگاه ارسال شد. ارتفاع آب آبشویی کاربردی، ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای اجرای روش مذکور، ابتدا به کلیه کرت‌ها، آب در چند نوبت و در هر نوبت ۲۰ سانتی‌متر، به صورت پیوسته تا عمق مورد نظر داده شد به نحوی که بعد از هر نوبت آب دادن و نفوذ آن در خاک و قبل از خشک شدن سطح زمین و در شرایطی که در سطح زمین حداقل ۳ تا ۵ سانتی‌متر آب موجود باشد، نوبت بعدی آب اضافه گردید. بعد ازاین که به کرت‌های هر تیمار، به اندازه تعیین شده، آب اضافه گردید، اجازه داده شد رطوبت در خاک توزیع شده و به حد رطوبت ظرفیت مزرعه برسد. سپس از سطح هر کرت، در چهار عمق موردنظر، نمونه برداری انجام گرفت. در هر مرحله نمونه برداری، کرت‌های نمونه برداری شده، از دور آزمایشات حذف می شدند. نمونه‌های خاک، پس از خشک شدن در هوای آزاد و عبور از الک دو میلی متری، مورد تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند. هدایت الکتریکی، میزان سدیم، کلسیم و منیزیم، سولفات، کلر و کربنات آنها تعیین گردید. برخی از نتایج در جدول(۲) ارائه شده است. برای مقایسه نتایج داده‌های مزرعه‌ای و برآورد شده از مدل‌ها، ابتدا با استفاده از نرم افزار *SPSS* ، بین داده‌های مزرعه‌ای و برآورد شده، بر اساس هرکدام از مدل‌ها با استفاده از روش رگرسیون خطی، برازش داده شد. سپس با استفاده از ضریب تشخیص (R^2) و ضریب رگرسیو ن خطی (b) حاصل از برازش و محاسبه شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و در صد خطا ($\%E$) ، نتایج به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفت. مقدار درصد سدیم تبادلی، بر اساس آزمایشگاه شوری خاک ایالات متحده از رابطه تجربی زیر محاسبه شده است.علیزاده،ا.(۱۳۸۲).

$$ESP = \frac{100(-0.0126 + 0.01475SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475SAR)} \qquad (۱)$$

برای رسم منحنی‌های شوری زدایی و سدیم زدایی، در یک دستگاه مختصات بر روی محور Y (متغیر وابسته) رقم‌های مربوط به نسبت های ($ECf - Eceq / ECi - ECeq$) برای رسم منحنی‌های شوری زدایی و یا ($ESPf - ESPeq / ESPi - ESPeq$) برای رسم منحنی‌های سدیم زدایی و بر روی محور X (متغیر مستقل) رقم‌های مربوطه به نسبت (Dlw / Ds) آورده می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری مقادیر شوری، بر حسب هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم(SAR) و درصد سدیم تبادلی(ESP) خاک، قبل از آبشویی(شاهد) و بعد از آبشویی از اعماق مختلف نیمرخ خاک، در تیمارهای «A» تا «D» در جدول(۲) آمده است. نتایج بیان شده بر اساس میانگین سه تکرارمی‌باشد.

جدول ۲: نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک قبل(شاهد) و بعد از آبشویی

تیمار	ارتفاع آب کاربردی(cm)	عمق نمونه برداری از خاک	EC_e (ds/m)	(meq/lit) Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SAR	ESP٪
شاهد	۰	۰-۲۵	۹۸/۶۰	۱۳۲۸	۱۴۷	۱۳۱	۱۱۲/۶۴	۶۲/۲۵
		۲۵-۵۰	۸۷/۱۰	۱۰۱۲	۱۲۷	۱۱۷	۹۱/۶۲	۵۷/۲۴
		۵۰-۷۵	۶۷/۳۰	۷۲۱	۱۳۰	۱۰۳	۶۶/۸۰	۴۹/۳۱
		۷۵-۱۰۰	۶۹/۷	۶۸۴	۱۰۰	۸۷	۷۰/۷۴	۵۰/۷۶
A	**۴۰**	۰-۲۵	۴۶/۵۰	۵۱۲	۷۲	۴۱	۱۲/۶۸	۸۰/۴۹
		۲۵-۵۰	۶۲/۱۰	۸۲۶	۱۶۲	۱۲۲	۳۳/۶۹	۲۴/۵۰
		۵۰-۷۵	۲۶/۸۳	۸۳۲	۱۳۷	۷۴	۸۱/۵۰	۱۷/۵۴
		۷۵-۱۰۰	۷۵/۹۰	۷۹۴	۱۱۳	۷۶	۶۸/۸۱	۳۸/۵۴
B	**۶۰**	۰-۲۵	۳۴/۲۰	۳۲۶	۸۰	۳۴	۴۳/۱۸	۳۸/۴۴
		۲۵-۵۰	۳۹/۸۰	۶۵۲	۱۴۹	۷۰	۳۱/۶۲	۵۵/۴۷
		۵۰-۷۵	۷۳/۵۸	۶۴۲	۱۰۳	۷۹	۳۰/۶۷	۵۰/۴۹
		۷۵-۱۰۰	۵۶/۸۴	۹۷۶	۱۲۴	۶۰	۷۶/۱۰۱	۸۱/۵۹
C	**۸۰**	۰-۲۵	۱۶/۸۳	۱۳۰	۳۵	۱۵	۲۶/۰۰	۲۷/۰۶
		۲۵-۵۰	۲۰/۳۰	۲۱۶	۷۴	۵۱	۳۲/۲۷	۰۸/۲۸
		۵۰-۷۵	۳۹/۲۶	۲۹۳	۷۳	۳۱	۶۳/۴۰	۹۸/۳۶
		۷۵-۱۰۰	۴۶/۵۲	۳۸۲	۸۱	۳۳	۶۰/۵۰	۳۲/۴۲
D	**۱۰۰**	۰-۲۵	۱۳/۳۴	۸۷	۴۱	۱۸	۰۲/۱۶	۲۸/۱۸
		۲۵-۵۰	۱۳/۵۱	۱۴۲	۵۴	۱۷	۸۳/۲۳	۳۱/۲۵
		۵۰-۷۵	۳۳/۸۰	۱۹۳	۵۷	۴۰	۷۱/۲۷	۳۸/۲۸
		۷۵-۱۰۰	۳۴/۲۰	۲۸۱	۷۸	۳۱	۰۶/۳۸	۴۴/۳۵

Archive of SID

www.SID.ir

بر اساس ارقام مندرج در جدول(۲)، میزان شوری عصاره اشباع خاک در اعماق ۲۵-۰، ۵۰- ۲۵ ، ۷۵-۵۰ و ۱۰۰- ۷۵ سانتی‌متری نیمرخ خاک با کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی به ترتیب از ۹۸/۶۰، ۸۷/۱۰، ۶۷/۳۰ و ۶۹/۷ به ۱۳/۳۴، ۱۳/۵۱، ۳۳/۸۰ و ۳۴/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. هم چنین درصد سدیم تبادلی در عمق‌های مذکور، به ترتیب از ۶۲/۲۵، ۵۷/۲۴، ۴۹/۳۱ و ۵۰/۷۶ درصد به ۱۸/۲۸، ۲۵/۳۱، ۲۸/۳۸ و ۳۵/۴۴ درصد رسید.طبق جدول(۳)، میزان کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک، تا حد ظرفیت زراعی قبل از کاربرد اولین مرحله آبشویی، به ترتیب ۵/۷۶، ۴/۹۹، ۱/۵۵ و ۰/۸۷ سانتی‌متر بوده است.

جدول ۳: نتایج تجزیه فیزیکی لایه‌های مختلف خاک و عمق آب مورد نیاز برای تأمین کمبود رطوبت هر لایه

عمق خاک (cm)	تجزیه مکانیکی خاک: درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	ضخامت لایه (cm)	درصد وزنی رطوبت اولیه خاک	چگالی ظاهری خاک (gr/cm^3)	درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه	کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه(cm)
					a	b	C	e	h=(e-b)*c*a/100
۲۵-۰	۲۴	۴۳	۳۳	لومی رسی	۲۵	۲۱/۳۵	۱/۴۶	۳۷/۱۴	۵/۷۶
۵۰-۲۵	۲۸	۴۵	۲۷	لومی رسی	۲۵	۲۱/۸۶	۱/۴۹	۳۵/۲۶	۴/۹۹
۷۵-۵۰	۲۲	۶۵	۱۳	لومی سیلتی	۲۵	۲۲/۶	۱/۶۲	۲۶/۴۲	۱/۵۵
۱۰۰-۷۵	۲۴	۶۳	۱۳	لومی سیلتی	۲۵	۲۳/۲	۱/۶۵	۲۵/۳۲	۰/۸۷

در جدول(۴) میانگین وزنی نتایج حاصل از تغییرات شوری عصاره اشباع خاک، در اعماق ۲۵-۰ ، ۵۰-۰ ، ۷۵-۰ و ۱۰۰-۰ سانتی‌متر ارائه شده است. جدول مذکور بیان‌گر این است که در عمق یک متری نیمرخ خاک، شوری متوسط قبل از آبشویی، معادل ۸۲/۹۳ دسی‌زیمنس بر متر بوده که با کاربرد ۴۰ ، ۶۰ ، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی، مقدار آن به ترتیب به ۶۶/۹۴ ، ۵۴/۳۲ ، ۳۰/۷۳ و ۷۱/ ۲۳ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت.

جدول ۴: تغییرات شوری اولیه و نهایی عصاره اشباع خاک

تیمار	عمق آب آبشویی(cm)	اعماق مختلف نیمرخ خاک (cm) ۲۵-۰	۵۰-۰	۷۵-۰	۱۰۰-۰
شاهد	۰	۹۸/۶۰	۹۲/۸۵	۸۷/۳۳	۸۲/۹۳
A	۴۰	۴۶/۵۰	۳۰/۵۴	۹۵/۶۳	۹۴/۶۶
B	۶۰	۳۴/۲۰	۳۷/۰۰	۴۴/۲۴	۵۴/۳۲
C	۸۰	۱۶/۸۳	۱۸/۵۷	۲۵/۴۶	۳۰/۷۳
D	۱۰۰	۱۳/۳۴	۱۳/۴۳	۲۰/۲۲	۲۳/۷۱
میانگین شوری عصاره اشباع خاک در دوره زمانی آبشویی		۷۲/۲۷	۸۲/۳۰	۳۸/۴۷	۴۳/۹۳

Archive of SID

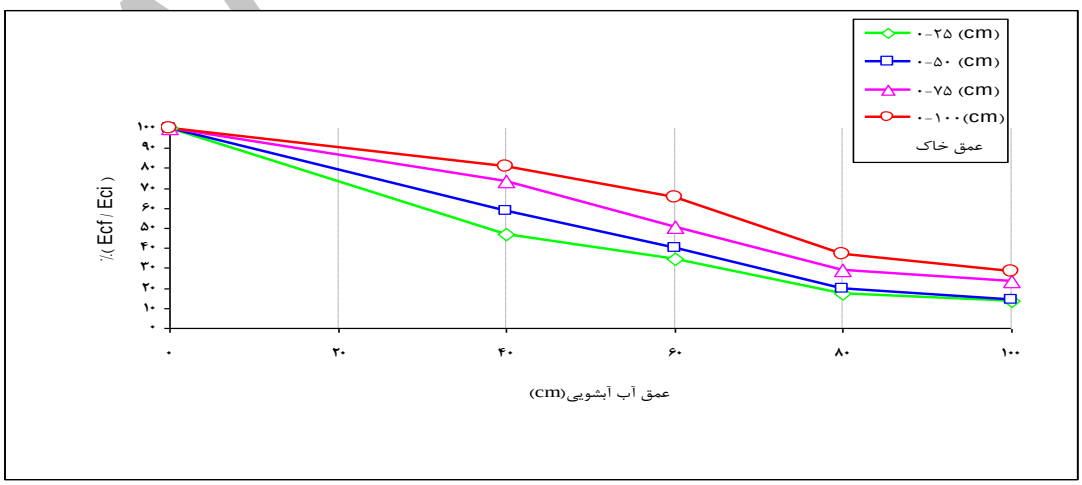
www.SID.ir

مطابق ارقام مندرج در جدول (۵)، درصد سدیم تبادلی برای عمق یک متری نیمرخ خاک، قبل از آبشویی، به طور متوسط ۵۴/۸۹ درصد بوده است که با کاربرد ۴۰ ، ۶۰ ، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی، به ترتیب به ۵۲/۱۵ ، ۴۸/۸۳ ، ۳۳/۶۱ و ۲۶/۸۵ کاهش پیدا نمود.

جدول ۵: تغییرات درصد سدیم تبادلی اولیه و نهایی خاک

تیمار	عمق آب آبشویی (cm)	اعماق مختلف نیمرخ خاک (cm)			
		۰-۲۵	۰-۵۰	۰-۷۵	۰-۱۰۰
شاهد	۰	۶۲/۲۵	۵۹/۷۶	۵۶/۲۷	۵۴/۸۹
A	۴۰	۴۹/۸۰	۵۰/۰۲	۴۰/۵۱	۱۵/۵۲
B	۶۰	۳۸/۴۴	۴۳/۰۰	۱۶/۴۵	۸۳/۴۸
C	۸۰	۲۷/۰۶	۲۷/۵۷	۳۰/۷۱	۳۳/۶۱
D	۱۰۰	۱۸/۲۸	۲۱/۸۰	۲۳/۹۹	۲۶/۸۵
میانگین درصد سدیم تبادلی خاک در دوره آبشویی		۳۳/۴۰	۳۵/۶۰	۳۷/۸۲	۴۰/۳۶

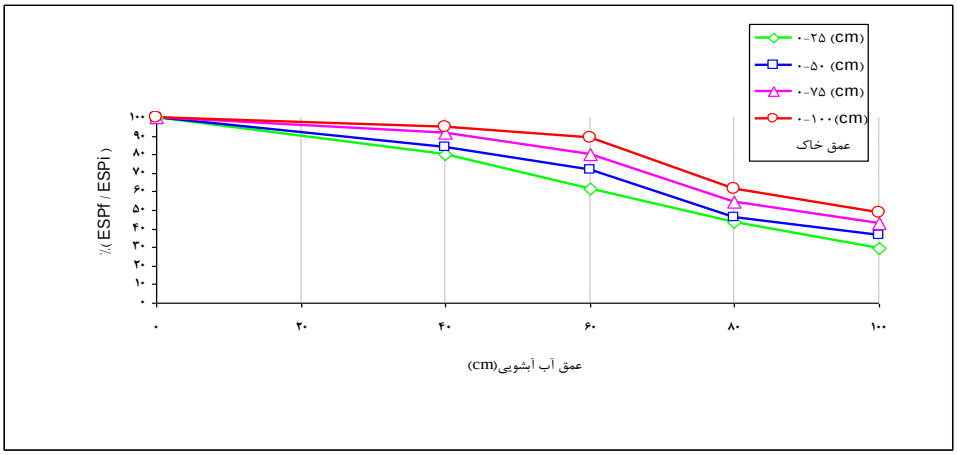
با استفاده از اطلاعات مندرج درجداول(۴)و(۵) و تأکید بر ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) و درصد سدیم تبادلی(ESP) به عنوان شاخص‌های شوری و سدیمی بودن خاک، تغییرات EC_e و ESP لایه‌های مختلف نیمرخ خاک تا عمق یک متری، به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی، به ترتیب در شکل‌های(۱) و (۲) نشان داده شده است. طبق شکل(۱)، کاربرد مقادیر مختلف آب آبشویی، ۴۰ ، ۶۰ ، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در خاک منطقه، باعث کاهش متوسط شوری به ترتیب، به میزان ۸۰، ۶۵، ۳۷و ۲۶ درصد شده است. همچنین طبق شکل(۲)، کاهش متوسط درصد سدیم تبادلی در عمق یک متری نیمرخ خاک، در عمق‌های آب آبشویی مذکور به ترتیب، برابر ۹۵ ، ۸۹ ، ۶۱ و ۴۹ درصد بوده است.



شکل ۱: رابطه بین میزان آب آبشویی و درصد شوری در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲: رابطه بین میزان آب آبشویی و درصد سدیم تبادلی در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک

بعد از پایان عملیات آبشویی، از سطح کرت‌های تیمار« D »، از عمق ۵-۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری انجام و هدایت الکتریکی عصاره اشباع و درصد سدیم تبادلی خاک، برای تعیین شوری تعادلی(EC_{eq}) و درصد سدیم تبادلی تعادلی(ESP_{eq}) اندازه گیری شد. که به ترتیب، برابر با ۱۰/۴۶ دسی‌زیمنس بر متر و ۱۵/۷۸ درصد بود. در این جدول EC_i و EC_f به ترتیب مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، قبل و پس از اعمال آبشویی بر حسب (ds/m) ، ESP_i و ESP_f به ترتیب مقادیر درصد سدیم اولیه و نهایی نیمرخ خاک، Dw عمق ناخالص آب آبشویی، DS عمق نمونه برداری از خاک و Dlw عمق خالص آب آبشویی می‌باشد. رقم‌های مندرج در جدول(۶)، ارقام محاسبه شده برای رسم منحنی‌های شوری زدایی و سدیم زدایی خاک موردآزمون را نشان می‌دهد.

جدول ۶: ارقام مربوط به ترسیم منحنی‌های شوری زدایی و سدیم زدایی

عمق نمونه برداری از خاک(cm) (D_S)	عمق ناخالص آب آبشویی (cm) (D_w)	عمق خالص آب آبشویی (cm) (D_{Lw})	D_{Lw}/D_S		
۰-۲۵	۴۰	۳۴/۲۴	۱/۳۷	۰/۴۱	۰/۷۳
	۶۰	۵۴/۲۴	۲/۱۷	۰/۲۷	۰/۴۹
	۸۰	۷۴/۲۴	۲/۹۷	۰/۰۷	۰/۲۴
	۱۰۰	۹۴/۲۴	۳/۷۷	۰/۰۳	۰/۰۵
۰-۵۰	۴۰	۲۹/۲۵	۰/۵۹	۰/۵۳	۰/۷۸
	۶۰	۴۹/۲۵	۰/۹۹	۰/۳۲	۰/۶۲
	۸۰	۶۹/۲۵	۱/۳۹	۰/۱۰	۰/۲۷
	۱۰۰	۸۹/۲۵	۱/۷۹	۰/۰۴	۰/۱۴
۰-۷۵	۴۰	۲۷/۷۰	۰/۳۷	۰/۷۰	۰/۸۸
	۶۰	۴۷/۷۰	۰/۶۴	۰/۴۴	۰/۷۳
	۸۰	۶۷/۷۰	۰/۹۰	۰/۲۰	۰/۳۷
	۱۰۰	۸۷/۷۰	۱/۱۷	۰/۱۳	۰/۲۰
۰-۱۰۰	۴۰	۲۶/۸۳	۰/۲۷	۰/۷۸	۰/۹۳
	۶۰	۴۶/۸۳	۰/۴۷	۰/۶۱	۰/۸۴
	۸۰	۶۶/۸۳	۰/۶۷	۰/۲۸	۰/۴۶
	۱۰۰	۸۶/۸۳	۰/۸۷	۰/۱۸	۰/۲۸

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷:معادلات ریاضی برازش داده شده بر ارقام شور زدایی و سدیم‌زدایی خاک مورد آزمون

آزمون مزرعه‌ای مورد نظر	معادله برازش داده شده	شکل ریاضی معادله	ضرایب معادلات			آماره‌های حساب شده	
			a	b	R^2	انحراف معیار	سطح معنی‌دار بودن
شوری‌زدایی	معکوس	$Y = a + b\frac{1}{X}$	۰/۰۲۳	۰/۲۳۰	۰/۸۰۳	۰/۱۱۰	۰/۰۰۰
	توانی	$Y = aX^b$	۰/۲۱۸	-۱/۱۵۲	۰/۷۱۳	۰/۵۵۴	۰/۰۰۰
	نمائی	$Y = a.e^{b.X}$	۰/۶۳۶	-۰/۸۳۲	۰/۶۶۰	۰/۶۰۳	۰/۰۰۰
سدیم‌زدایی	معکوس	$Y = a + b\frac{1}{X}$	۰/۱۸۸	۰/۲۴۴	۰/۶۲۸	۰/۱۸۵	۰/۰۰۰
	توانی	$Y = aX^b$	۰/۳۹۴	-۰/۸۵۵	۰/۶۰۴	۰/۵۲۶	۰/۰۰۰
	نمائی	$Y = a.e^{b.X}$	۰/۹۱۴	-۰/۶۵۵	۰/۶۱۶	۰/۵۰۹	۰/۰۰۰

ارقام جدول، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت که پس از برازش معادلات معکوس، توانی و نمایی به داده‌های مزرعه‌ای، نتایج در جدول(۷)، ارائه گردید. طبق اعداد ارائه شده در جدول(۷)، مشخص گردید، بهترین مدل برازش شده از نظر شکل ریاضی با نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای، با توجه به R^2 و انحراف معیار، تابع معکوس است. از بین مدل‌های تجربی، مدل‌های ریو، لفلار و شارما،هافمن، پذیرا و کاواچی رابطه به شکل معکوس (هذلولی) دارند (نشریه شماره ۳۵۹). بر این اساس در جدول (۸)، نتایج معادلات تجربی با معادله معکوس جدید حاصل از جدول(۷)، برازش داده شده بر ارقام شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک با کاربرد رگرسیون خطی و شاخص‌های آماری دیگر مقایسه و ارائه شد.

جدول۸: مقایسه نتایج معادلات تجربی برازش داده شده بر ارقام شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک با استفاده از شاخص‌های آماری

آزمون مزرعه‌ای موردنظر	مدل مورد نظر	معادله رگرسیون خطی $y = a + bx$		آماره‌های محاسبه شده مدل‌های تجربی		
		a	b	R^2	$RMSE$	$\%E$
شوری‌زدایی	معکوس جدید	۰/۰۰۲	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۱۱	۹/۴۷
	ریو	-۰/۰۰۸	۱/۱۴	۰/۸۰	۰/۲۱	۱۸/۹۵
	لفلار و شارما	-۰/۰۹	۳/۵۹	۰/۷۹	۰/۲۷	۲۰/۹۹
	هافمن	۰/۰۳	۱/۱۴	۰/۸۰	۰/۱۲	۹/۵۴
	پذیرا و کاواچی	-۰/۰۵	۲/۹۸	۰/۸۰	۰/۲۶	۲۰/۱۷
سدیم‌زدایی	معکوس جدید	۰/۰۰۱	۰/۹۹	۰/۶۳	۰/۱۷	۱۵/۴۷
	ریو	۰/۱۵	۱/۲۱	۰/۶۲	۰/۲۸	۲۱/۸۰
	لفلار و شارما	۰/۰۷	۳/۸۰	۰/۶۰	۰/۴۵	۳۸/۷۰
	هافمن	۰/۱۹	۱/۲۱	۰/۶۲	۰/۳۰	۲۴/۳۷
	پذیرا و کاواچی	۰/۱۲	۳/۱۵	۰/۶۱	۰/۴۴	۳۸/۰۰

Archive of SID

www.SID.ir

طبق جدول(۸) و با توجه به آماره‌های محاسبه شده، مشخص شد که مدل معکوس جدید، نسبت به مدل‌های تجربی دیگر، برازش بهتری را با داده‌های شوری و سدیم‌زدایی منطقه نشان می دهد. بعد از آن به ترتیب مدل‌های ریو وهافمن می باشند. اما مدل‌های پذیرا و کاواچی و لفلار و شارما برازش خوبی را با رقم‌های مشاهده‌ای شوری و سدیم‌زدایی خاک منطقه مورد مطالعه نشان ندادند.پذیرا و کشاورز(۱۳۷۸)، مطالعاتی را درخاک‌های شور و سدیمی جنوب شرقی استان خوزستان(دشت هندیجان) ازطریق آزمون‌های مزرعه‌ای بر روی کرت‌های مدل انجام دادند و نتیجه گرفتند که کاربرد روابط تجربی ارائه شده Sharma and Leffelaar در سال ۱۹۷۷ و Kawachi and Pazira در سال ۱۹۸۱، با نتایج حاصل از آزمون‌های میدانی انجام شده در دشت هندیجان تطابق مناسبی ندارد. رابطه مدل معکوس جدید، طبق جدول(۷) به‌صورت زیر قابل ارائه است:

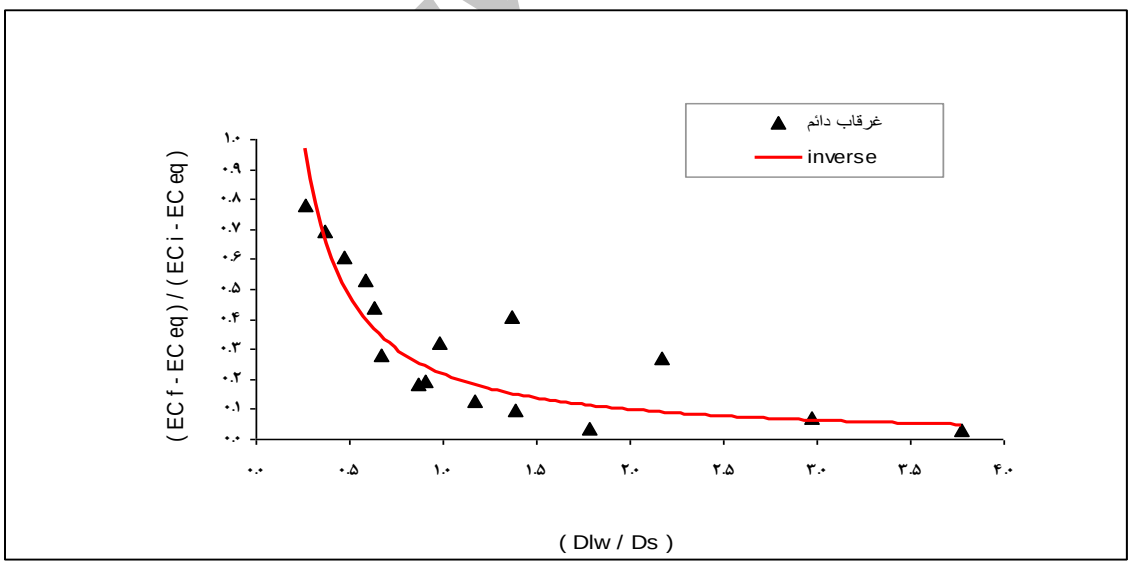
(۲) مدل معکوس جدید برای‌شوری‌زدایی:

$$Y = 0.023 + 0.230\frac{1}{X}$$

(۳) مدل معکوس جدید برای سدیم‌زدایی:

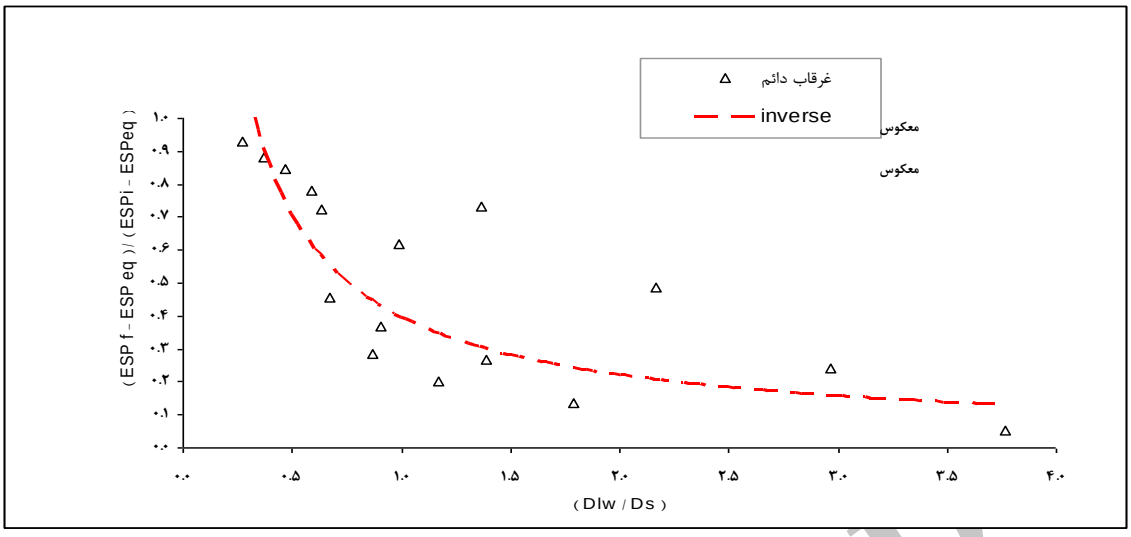
$$Y = 0.188 + 0.244\frac{1}{X}$$

بنابراین برای رسم منحنی‌های مذکور، با جایگزینی متغیرهای مربوط به X و Y در معادله‌های (۲) و (۳)، منحنی‌های شوری زدایی و سدیم زدایی به‌صورت شکل‌های(۳) و (۴) به دست آمد.



شکل۳: منحنی شوری زدایی

www.SID.ir



شکل۴: منحنی سدیم زدایی

با استفاده از منحنی‌های شوری و سدیم‌زدایی، علاوه بر تعیین عمق آب مورد نیاز آبشویی، می‌توان با استفاده از سایر اطلاعات، در مورد ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، زمان لازم جهت آبشویی، املاح را در یک برنامه‌ریزی دقیق تعیین نمود. جهت محاسبه کلی مقدار آب مورد نیاز آبشویی لازم است میزان تبخیر از سطح آب و خاک، میزان تقریبی بارندگی و کسر رطوبت خاک، تا حد ظرفیت مزرعه در محاسبات منظور گردد. در مورد کاربرد منحنی‌های فوق، لازم به ذکر است که کاربرد این نوع منحنی‌ها به نوع خاک، حدود شوری و درصد سدیم تبادلی خاک، مورد آزمون محدود می‌گردد.

نتیجه گیری

تجزیه و تحلیل ارقام حاصله از آزمایش‌های آبشویی خاک منطقه، حاکی از آن است که میزان شوری عصاره اشباع خاک(EC_e) و درصد سدیم تبادلی (ESP) لایه سطحی (۲۵-۰ سانتی‌متر) خاک قبل از آبشویی بسیار بالا بوده و از مقادیر نظیر در لایه‌های زیرین خود بیشتر است. این امر حاکی از وجود سفره آب زیر زمینی شور و کم عمق، در منطقه است که به دلیل تبخیر بالای منطقه و کمبود بارش، سبب تجمع املاح در لایه‌های سطحی خاک گردیده است. روند شوری زدایی و سدیم زدایی در آزمون‌های انجام شده، نشان داد که کاربرد مقادیر مختلف آب آبشویی در خاک‌های منطقه مورد آزمون، موجب کاهش شوری و درصد سدیم تبادلی در عمق یک متری نیمرخ خاک گردید. بنابراین در صورت تأمین آب مورد نیاز آبشویی به میزان کافی و به شرط ایجاد سیستم زهکشی مناسب درخاک منطقه، این خاک‌ها اصلاح پذیرند و به دلیل وجود منابع کافی کلسیم در خاک، بعد از شسته شدن خاک‌های شور و سدیمی، با مشکل سدیمی شدن خاک‌ها مواجه نبوده و نیازی به استفاده از مواد اصلاحی در این خاک‌ها نیست. طبق مطالعه انجام شده در منطقه، مشخص گردید که کاربرد مدل‌های تجربی، نتایج خوبی جهت رسم منحنی‌های شوری زدایی و سدیم زدایی نشان نمی‌دهند و بهترین برازش برای آبشویی، مربوط به معادله معکوس جدید بود که دلایل آن مقادیر شوری اولیه متفاوت در خاک‌های مورد آزمون و تفاوت در بافت خاک محل می‌تواند باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

پیشنهادات

با توجه به اینکه آزمایش‌های آبشویی در این تحقیق، در یک نقطه از خاک‌های منطقه انجام شد، به منظور جامع و کاربردی بودن نتایج حاصل برای تمام منطقه، پیشنهاد می‌گردد آزمایش‌های آبشویی و مقایسه داده‌های صحرایی با مدل‌های تجربی، در نقاط بیشتری از منطقه انجام شود. نتایج حاصل، از این تحقیق و تحقیق‌های مشابه، در تعیین نیاز آبشویی و برنامه ریزی برای آبشویی خاک‌های شور و سدیمی منطقه مورد نظر، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نظر به بالا بودن شوری اراضی بایر در جنوب استان خوزستان، پایین آمدن کیفیت آب‌های سطحی در سال‌های اخیر و حجم زیاد زه آب‌های رها شده در منطقه، پیشنهاد می‌گردد در بررسی‌های آینده، آبشویی اولیه اراضی با استفاده از پساب‌های کشاورزی و یا اختلاط آن با آب‌های جاری، بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- **بذر افکن،ع.(۱۳۷۵)**.بررسی میزان آبشویی اولیه لازم در اراضی کشت و صنعت هفت تپه.پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.
- **برزگر،ع.(۱۳۸۷)**.خاک‌های شور و سدیمی:شناخت و بهره وری.انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز،چاپ اول.۳۵۵ص.
- **پذیرا،ا.وکشاورز،ع.(۱۳۷۸)**.بررسی و تعیین آب مورد نیاز اصلاح خاک‌های شور و سدیمی اراضی جنوب شرقی استان خوزستان، مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، جلدچهارم، شماره۱۶.
- **علیزاده،ا.(۱۳۸۲)**. زهکشی اراضی(طرح و برنامه ریزی سیستم‌های زهکشی در کشاورزی). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- **سازمان مدیریت و برنامه ریزی‌کشور.۱۳۸۵**.راهنمای‌کاربرد مدل‌های‌تجربی و نظری آبشویی‌نمک‌های خاک‌های‌شور، نشریه شماره ۳۵۹. چاپ اول.
- **Dielema, P.J**. **(1963).** Reclamation of salt-affected soils in Iraq.Veenman,Wageningen .175 p.
- **Leffelaar, P.A. and Pal Sharma**. **(1977).** Leaching of a highly saline-sodic soil. Journal of Hydrology 32, pp.203-218.
- **Miller, R.J., Bigger. J.W. and D.R, Nielson**. **(1965).** Chloride displacement in panche clay loam in relation to water movement and distribution. Water Resour. Res. 1, pp.63-73
- **Pazira, E., and Kawachi, T**. **(1981).** Studies on appropriate depths of leaching water, Iran. A case Study Journal of Integrated agricultural Water Use and Freshimg. Reservoir 6:39-49.Faculty of Agriculture ,Kyoto University.Japan.

Archive of SID

www.SID.ir