

مقایسه روش‌های مختلف آب شویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌های شور و سدیمی

زهرا بهبهانی‌زاده رضائیان^۱، ابراهیم پذیرا^۲، ابراهیم پناهپور*^۳ و نرگس ظهراپی^۴

(۱) دانشجوی دکتری، گروه خاک‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۲) استاد، گروه خاک‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) استادیار، گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(۴) استادیار، گروه آبیاری و زهکشی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: e.panahpour@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۰

چکیده

رشد روز افزون جمعیت سبب بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی و تخریب اراضی شده است. شور و سدیمی شدن اراضی از اثرات این تخریب می‌باشد. آبشویی نمک‌های محلول خاک از مناسب‌ترین روش‌های اصلاح خاک‌های شور و سدیمی است. به همین منظور در این پژوهش، به بررسی روش‌های مختلف برای آبشویی خاک‌های شور و سدیمی منطقه ویس در استان خوزستان پرداخته شد. این منطقه به مساحت ۶۰۰۰ مترمربع در شمال شرقی شهر اهواز قرار دارد. بخش اعظمی از خاک این منطقه بافت رسی و سنگین دارد که در بیش‌تر آن‌ها مشکل شوری و سدیمی بودن وجود دارد. کانال‌های مورد استفاده به منظور آبیاری منطقه مذکور از رودخانه کارون انشعاب گرفته شده است. این پژوهش با دو روش آبشویی غرقاب متناوب و پاششی در ستون‌هایی از جنس پلی اتیلن به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع یک متر خاک اجرا شد. عمق‌های آب آبشویی کاربردی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر و لایه‌های خاک مورد بررسی ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متر بوده است. با استفاده از نتایج حاصل، نوعی مدل تجربی برای هر روش آبشویی تعیین گردید. نتیجه انتخاب بهترین مدل بر مبنای ضریب همبستگی بالاتر و خطای استاندارد کمتر، مدل نمایی در روش آبشویی غرقاب متناوب بود. بررسی نتایج نشان داد که، روش آبشویی متناوب به حجم آب کمتری برای اصلاح خاک‌های مورد مطالعه نیاز دارد، همچنین ضریب راندمان آبشویی بهتری را ارائه می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: آبشویی پاششی، آبشویی غرقاب متناوب، شوری‌زدایی و مدل آبشویی.

مقدمه

استفاده پایدار از منابع طبیعی و ایجاد تعادل بین میزان تولید و بهبود کیفیت منابع طبیعی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. خاک بخشی از این منابع طبیعی است که شامل مواد جامد (آلی و معدنی)، مایع و گاز می‌باشد و لایه سطحی زمین را می‌پوشاند و جز بسیار مهم پایداری اکوسیستم به شمار می‌رود. توانایی خاک در انجام فرآیند یا استفاده‌ای خاص، مفهوم کیفیت خاک را در اکوسیستم نشان می‌دهد (Islam and weil, 2000). تخریب خاک و کاهش حاصلخیزی آن، آلودگی خاک‌ها، آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش سطح مراتع، شور و سدیمی شدن خاک‌ها در بخش وسیعی از دنیا تنها نمونه‌هایی از خسارات جبران‌ناپذیری است که به علت اتخاذ روش‌های نامناسب و ایجاد تغییرات حساب نشده توسط انسان به منابع طبیعی وارد شده است. زمین‌های شور و سدیمی حدود ۱۳ درصد از کل زمین‌های قابل کشت جهان را تشکیل می‌دهند (Rajabzadeh et al., 2009). علت گرایش خاک‌ها به سمت شور و سدیمی شدن بر اثر دو دسته عوامل طبیعی و غیرطبیعی است که هر دو گروه می‌توانند تحت تاثیر مستقیم عوامل مکانی و زمانی، دامنه تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته باشند (پذیرا و همایی، ۱۳۸۵). دلایل اصلی شوری خاک شامل استفاده از آب شور، تبخیر شدید، آبشویی ناکافی، کمبود آبیاری مناسب و مدیریت زهکشی اراضی می‌باشد (Rajabzadeh et al., 2009). مواردی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد شوری خاک در نتیجه ویژگی‌های شیمیایی سنگ‌های مادری است که شوری اولیه نامیده می‌شود (پذیرا و همایی، ۱۳۸۵). براساس بررسی‌های انجام شده به این نتیجه رسیدند که در شروع فصل رشد آب زهکشی خیلی شور است که ناشی از فقدان تعادل بین خاک و آب آبیاری و به دلیل شوری اولیه زیاد نیمرخ خاک می‌باشد (Rajabzadeh et al., 2009). در هر حال خاک‌هایی که بدین ترتیب در این مناطق ایجاد شده‌اند و توسعه یافته‌اند، به دلیل ناچیز بودن مقدار بارش‌های آسمانی، امکان آبشویی طبیعی نمک از نیمرخ آن‌ها تقریباً اندک است (پذیرا و همایی، ۱۳۸۵). از آنجایی که سطح بسیار وسیعی از گستره کشورمان را اقلیم‌های خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد، توزیع زمانی ریزش‌های آسمانی نیز غیریکنواخت و میانگین آن در کشور کمتر از یک سوم میانگین بارش‌های سالانه کره زمین است. همچنین، افزایش میزان تبخیر و تعرق بر بارندگی در کشور، تجمع نمک در خاک را امری اجتناب‌ناپذیر نموده است. در آینده‌ای نه چندان دور معضل گرایش به شوری در منابع آب و خاک این مناطق، ابعاد اقتصادی و اجتماعی زندگی را در جوامع کشاورزی و روستایی با تنگناهای بسیاری روبه‌رو خواهد نمود. در خاک‌های خوزستان به دلیل مناسب نبودن شرایط زهکشی، آب افزوده شده به خاک در نیمرخ آن باقی می‌ماند و به دلیل فزونی تبخیر بر بارش، این آب تبخیر شده و با افزایش غلظت املاح در نیمرخ خاک سبب شور و سدیمی شدن این اراضی می‌شود (اسدی و همکاران، ۱۳۹۱). شوری و توزیع آن در خاک در اراضی زراعی در زمان‌های مختلف متفاوت بوده و تابعی از بارش، آبیاری، تبخیر و تعرق، آبشویی،

زهکشی و اثر متقابل بین این عوامل است. عوامل ذکر شده و اثرات متقابل بین آن‌ها که عملکرد گیاه، جذب آب به وسیله ریشه، شوری خاک و میزان نمک زهکش‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند، از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردار بوده و هنوز به درستی درک و کمی‌سازی نشده‌اند (Corwin et al., 2007). کاهش جوانه زنی، توسعه سلولی و رشد برگ‌ها از دیگر خسارات ناشی از شوری خاک است. همچنین در اثر وجود نمک در خاک، سطح برگ و ماده خشک تجمعی، سرعت جذب خالص دی‌اکسیدکربن و رشد نسبی گیاه نیز کاهش می‌یابد (Bernadro et al., 2000). به منظور شوری‌زدایی خاک‌های شور به طور معمول اقدام به آبخویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک و لایه‌ای از آن که اصلاح آن مورد نظر است، می‌گردد (Konuku et al., 2005). در واقع، صرف‌نظر از اینکه عامل شوری مربوط به عوامل طبیعی یا عوامل انسانی است، عملیات آبخویی به همراه احداث شبکه‌های زهکشی یکی از بهترین راه‌حل‌ها برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی می‌باشد (Noroozi et al., 2012). وجود سدیم زیاد در خاک، سبب پراکنش ذرات خاک و تخریب آن شده و فرسایش خاک را تشدید می‌کند (Farifte et al., 2005). در خاک‌های شور و سدیمی، به علت افزایش غلظت نمک‌های محلول در نیمرخ خاک، جذب آب به وسیله ریشه گیاه که مبتنی بر پدیده اسمز است دچار اختلال گردیده که باعث توقف یا اختلال در رشد و نمو گیاهان می‌شود. تا به امروز، تحقیقات بسیاری در این مورد صورت گرفته است. Rodrigues و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی در برزیل با موضوع استفاده از گچ محلول در آب برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی دریافتند استفاده از گچ سبب کاهش معنی‌دار نسبت جذبی سدیم نسبت به تیمار شاهد شده است. دیگر پژوهشگران نیز روند کاهش میزان درصد سدیم تبادلی در اثر فرآیند آبخویی را گزارش کرده‌اند، آن‌ها بیان داشتند که میزان درصد سدیم تبادلی در همه تیمارها نسبت به شاهد ۴۰/۶ درصد کاهش داشته است، با توجه به اینکه حد مطلوب کاهش تا حد ۱۵ درصد نمونه شاهد می‌باشد آن‌ها کاهش درصد سدیم تبادلی در تحقیق خود را مطلوب بیان کرده‌اند (Li and keren, 2009). ارزیابی مقدار آب مورد نیاز برای آبخویی نمک‌های محلول خاک از اقدامات مهم در برنامه‌ریزی شوری‌زدایی خاک‌های شور و سدیمی است (Corwin et al., 2007). عمق آب لازم برای آبخویی نمک‌ها، بستگی به میزان شوری اولیه، بافت و عمق خاک، گیاهان انتخابی در الگوی کشت و روش آبخویی نمک‌های محلول خاک دارد (Konuku et al., 2005). آبخویی نمک‌های محلول به روش‌های مختلفی قابل اجرا است، لیکن، تعیین اینکه کدام روش به زمان و میزان آب کمتری برای شوری و سدیم‌زدایی نیاز دارد و دارای راندمان آبخویی بالاتری است حائز اهمیت می‌باشد. راندمان آبخویی در روش‌های غیراشباع مانند غرقاب متناوب به دلیل عبور آب از منافذ ریز نیمرخ خاک بیشتر گزارش شده است (Cote et al. 2000). برخی محققین در مطالعات آزمایشگاهی خود روی آبخویی ستون‌های خاک به این نتیجه رسیدند که کاهش میزان نسبت جذبی سدیم و درصد سدیم تبادلی تا حدود ۲۵ درصد در اعماق مختلف خاک در اثر کاربرد روش آبخویی غرقاب متناوب به دلیل مذکور

اتفاق افتاده است (Mostafazadeh fard *et al.*, 2008). برای تعیین آب مورد نیاز برای آبشویی دو روش فیزیکی و نظری وجود دارد. از آنجایی که مطالعات مزرعه‌ای آبشویی مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است، استفاده از روابط و مدل‌های مبتنی بر نظریه آبشویی و انتقال نمک‌ها مورد توجه قرار گرفته است، این مدل‌ها براساس روابط ریاضی و تجربی بدست آمده‌اند (Metternicht and Zinck, 2003). لازم به ذکر است که به کارگیری مدل‌ها برای برآوردهای مقدماتی و تقریبی در دستیابی به اطلاعات مورد نیاز برنامه‌های اصلاح خاک می‌تواند سودمند باشد (Behzad, Asensioa *et al.*, 2007) و Akhoond-Ali (۲۰۰۲) به بررسی معادله‌های تجربی شوری و سدیم‌زدایی خاک‌های شور ملاتانی در استان خوزستان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با کاربرد یک واحد عمق آب، حدود ۸۰ درصد املاح از واحد عمق خاک در منطقه مذکور خارج شده است. به طور کلی مدل‌های تجربی بسیاری توسط محققین ارائه شده است که از نظر ریاضی به اشکال مختلف طبقه بندی می‌شوند. مدل‌های تجربی Leffeloar و Sharma (۱۹۷۷) و Pazira و Kawachi (۱۹۸۱) به شکل معادله ریاضی معکوس، مدل‌های Verma و Gupta (۱۹۸۹) و پذیرا و کشاورز (Pazira *et al.*, 1998) به شکل معادله توانی و مدل دیلمان (Dieleman, 1963) به صورت تابع نیمه لگاریتمی می‌باشند. Mohsenifar و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از داده‌های اولیه و نهایی هدایت الکتریکی نسبت به عمق خالص آب آبیاری به عمق خاک، یازده مدل تجربی را در منطقه خوزستان مورد بررسی قرار دادند. ضریب راندمان آبشویی (f) از عوامل مهم و موثر در تعیین و شناخت عکس‌العمل خاک به فرآیند آبشویی و خروج نمک‌های محلول از نیمرخ خاک است. این پارامتر مبین کفایت عمق آب کاربردی برای شستشوی املاح و کاهش میزان شوری خاک می‌باشد. ضریب راندمان آبشویی یکی از اجزا اصلی، لیکن نامعین معادلات و روابط میان آب و املاح در خاک و معادله‌های تجربی است. نقش مهم دیگر آن استفاده در برنامه‌ریزی برای آبشویی املاح، جلوگیری از شوری ثانویه و حفظ تعادل نمک در اراضی تحت آبیاری می‌باشد (Van Hoorn and Van Alphen, 1987). در شرایط مزرعه‌ای، بررسی تغییرات زمانی و مکانی حرکت املاح دشوار است. از این رو برخی محققان از جمله Keren و Li در سال ۲۰۰۹ از ستون خاک در شرایط قابل کنترل آزمایشگاهی استفاده نموده‌اند. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه تاکنون اقدام به تهیه منحنی‌های آبشویی نشده بود این تحقیق با هدف تعیین بهترین روش آبشویی و تعیین ضریب راندمان آبشویی اراضی شور و سدیمی منطقه ویس در استان خوزستان با استفاده از ستون‌های دست نخورده خاک در محیط آزمایشگاهی انجام شده است. بررسی روند اصلاح خاک به وسیله آبشویی، تعیین برنامه اصلاحی برای خاک منطقه، همچنین مقایسه ضریب راندمان آبشویی در دو روش آبشویی غرقاب متناوب و پاششی از دیگر اهداف این پژوهش بوده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های آبشویی بر روی ستون‌های دست نخورده استخراج شده از عمق ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک مزرعه‌ای در منطقه ویس در استان خوزستان انجام شد. این منطقه در شمال شرقی شهر اهواز و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد. بخش اعظمی از این منطقه خاکی با بافت رسی و سنگین دارد که در بیش‌تر آن‌ها مشکل شوری و قلیائیت وجود دارد. رودخانه کرخه از نزدیکی منطقه مورد مطالعه عبور می‌کند که کیفیت آب آن طی فصول سال در نوسان است. لیکن، با توجه به دی‌گرام ویلکاکس در زمان تحقیق، در کلاس C_2S_1 قرار می‌گیرد که نشان دهنده خطر شوری متوسط و سدیمی کم است. برای شوری زدایی خاک‌ها اقدام به آبشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک گردید. آب مورد نیاز از آب مورد استفاده جهت کشاورزی در همان منطقه تامین شد که دارای هدایت الکتریکی $2/86$ دسی‌زیمنس بر متر بود. آبشویی به دو روش غرقاب متناوب و پاششی انجام شد. عمق آب کاربردی در هر دو روش ۱۰۰ سانتی‌متر بود. در هر روش ۴ ستون مجزا در نظر گرفته شد که به ترتیب مقادیر ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی برای آن‌ها به کار رفت. این کار به این دلیل صورت گرفت تا بتوان زه آب و خاک مربوطه به هر عمق آبشویی را جداگانه مورد بررسی و تحلیل قرار داد. در روش آبشویی غرقاب متناوب مقدار آب در نظر گرفته شده برای هر ستون در مقادیر ۲۵ سانتی‌متری به ترتیب در تناوب‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ باره برای مقادیر آب آبشویی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متری مورد استفاده قرار گرفت. در روش پاششی تمامی آب مورد نظر برای هر ستون بدون وقفه به خاک اضافه شد با این شرایط که از دوش طراحی شده‌ای برای توزیع پاششی آب بر سطح ستون خاک استفاده شد و دبی ورودی طوری در نظر گرفته شد که هیچ ارتفاع آبی در طول مراحل آبشویی بر روی خاک باقی نماند.

لازم به ذکر است که پس از اتمام آبشویی در هر سه روش در هر ستون خاک، بر مبنای عمق آب آبشویی در نظر گرفته شده برای آن و خروج کامل زه‌آب، ستون مربوطه از مراحل آبشویی خارج می‌شد. سپس ستون پلی‌اتیلنی، به صورت افقی برش داده شده و از اعماق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری تصادفی صورت گرفت. این نمونه‌ها به همراه نمونه‌های عمق متناظر پیش از آبشویی و زه‌آب خارج شده از هر ستون به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه معتبر به نام خاک سبز مارون در بهبهان انتقال یافت. در هر نمونه خاک میزان هدایت الکتریکی به وسیله EC سنج، واکنش گل اشباع به وسیله pH متر، غلظت کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری با EDTA، غلظت سدیم به وسیله فلیم فوتومتر، درصد کل مواد خنثی شونده (درصد T.N.V) به روش تیتراسیون برگشتی با سود، درصد مواد آلی به روش والکی و بلک، درصد گچ به روش استن، درصد رطوبت اشباع به روش وزنی، درصد اندازه

ذرات خاک (بافت خاک) به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری (ρ_b به روش کلوخهو نفوذپذیری به روش آزمایشگاهی بر روی استوانه‌های خاک دست نخورده اندازه‌گیری شد. براساس ارقام مربوطه مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR)، نسبت جذب سدیم تعدیل شده ($adjR_{Na}$ ، درصد سدیم تبادلی (ESP)، تخلخل (n) و رطوبت حجمی (حاصلضرب رطوبت وزنی در جرم مخصوص ظاهری) به دست آمد. برای نمونه‌های آب مورد استفاده در آیشویی و زه‌آب خروجی با تناوب ۲۵ سانتی‌متری نیز مقادیر pH، EC، غلظت کلسیم، منیزیم و سدیم اندازه‌گیری شد، که در نهایت مقادیر نسبت جذبی سدیم و $adjR_{Na}$ نیز برای آن‌ها محاسبه شد جداول ۱، ۲ و ۳. لازم به ذکر است که SAR که به معنای نسبت جذبی سدیم می‌باشد که از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن Na، Ca و Mg غلظت یون‌های موجود در محلول بر حسب میلی‌اکی‌والانت بر لیتر می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۴). همچنین، درصد سدیم تبادلی (ESP) را به شرح زیر می‌توان ارائه نمود (GLGR, 1999)

$$ESP = 100(0.015 adjR_{Na}) / 1 + (0.015 adjR_{Na}) \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن $adjR_{Na}$ نسبت جذب سدیم تعدیل شده است و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$adjR_{Na} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}} = Na[0.5(Ca_x + Mg)]^{-0.5} \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این رابطه Ca_x و Mg^{2+} به ترتیب غلظت کاتیون‌های سدیم، منیزیم و کلسیم در عصاره اشباع خاک بر حسب میلی‌اکی‌والانت بر لیتر است که اثرات گاز کربنیک (CO_2 ، بی‌کربنات (HCO_3) و شوری آب کاربردی (EC_w) بر روی کلسیم اولیه و موجود لحاظ شده است. در عمل امکان دارد مقداری از آب آیشویی صرف رفع یا جبران کمبود رطوبت خاک اعماق مربوطه گردد و در فرآیند آیشویی بی‌اثر باشد، به این مقدار کسر رطوبت خاک گفته می‌شود. به منظور محاسبه کسر رطوبت در هر سه روش ابتدا رطوبت اولیه خاک تعیین و پس آیشویی با ۲۵ سانتی‌متر آب و رسیدن به حد رطوبت ظرفیت زراعی (F.C) از مقدار به دست آمده برای ظرفیت زراعی کسر شد. با توجه به مطالب ارائه شده مقادیر کسر رطوبت در روش‌های آیشویی غرقاب متناوب و پاششی به ترتیب ۱۰/۳۵ و ۹/۲۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بر پایه ارقام جداول فوق با استفاده از ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و درصد سدیم تبادلی محاسبه شده، میانگین وزنی (EC_e) و درصد سدیم تبادلی برای لایه‌های ۰-۲۵، ۰-۵۰، ۰-۷۵ و ۰-۱۰۰ سانتی‌متری خاک محاسبه شد. مقدار هدایت الکتریکی تعادلی خاک (EC_{eq}) برابر ۲/۸۵ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. بر پایه مقادیر EC_e و EC_{eq} لایه‌های مختلف و با توجه به ارقام جدول‌های مذکور متغیرهایی به شکل روابط زیر تعریف گردید (پذیرا، ۱۳۸۵):

$$X = \frac{Dlw}{Ds} \quad \text{و} \quad y = \frac{ECf - ECeq}{ECi - ECeq} \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آن: EC_i و EC_f به ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پیش و پس از آبخوبی D_{lw} ، (dS/m) عمق خالص آب آبخوبی (Cm) و D_s عمق لایه خاک (Cm) می باشد.

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه پیش از آبخوبی

| بافت خاک | فراوانی نسبی (درصد) | | | نفوذپذیری (mm/hr) | تخلخل کل (درصد) | جرم مخصوص ظاهری (gr/Cm ³) | درصد رطوبت اشباع | عمق نمونه برداری (Cm) |
|-----------|---------------------|------|------|-------------------|-----------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------|
| | رس | سیلت | شن | | | | | |
| Clay loam | ۲۹/۲ | ۴۸/۹ | ۲۱/۹ | ۰/۷۳ | ۴۰ | ۱/۵۸ | ۴۳/۹ | ۲۵-۰ |
| Loam | ۲۵/۶ | ۴۸/۹ | ۲۵/۵ | ۲/۵۰ | ۳۶ | ۱/۵۹ | ۴۳/۵ | ۵۰-۲۵ |
| Silt loam | ۲۲/۰ | ۵۰/۷ | ۲۷/۳ | ۱/۳۰ | ۴۲ | ۱/۵۴ | ۴۳/۸ | ۷۵-۵۰ |
| Silt loam | ۲۵/۶ | ۵۲/۵ | ۲۱/۹ | ۱/۳۰ | ۴۲ | ۱/۵۵ | ۴۷/۷ | ۱۰۰-۷۵ |

جدول ۲: مشخصات کیفیت آب مورد استفاده در عملیات آبخوبی

| adjR _{Na} | SAR | سدیم | منیزیم | کلسیم | pH | EC | کلاس | تاریخ |
|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|------|--------|-------------------------------|--------------|
| (meq/lit) ^{0.5} | (meq/lit) ^{0.5} | (meq/lit) | (meq/lit) | (meq/lit) | | (dS/m) | آب | نمونه برداری |
| ۶/۲۰ | ۶/۰۰ | ۱۵/۸۷ | ۶/۳۵ | ۷/۶۵ | ۷/۵۵ | ۲/۸۶ | C ₂ S ₁ | ۱۳۹۳/۱۲/۴ |

پس از دستیابی به کلیه ارقام آزمون‌های آبخوبی، تجزیه و تحلیل‌های لازم بر روی طرح بلوک کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS، Curve Expert و Excel انجام شد. بدین ترتیب که چهار مدل ریاضی شامل: مدل‌های توانی، معکوس، لگاریتمی و نمایی بر ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع برازش داده شد و برای هر روش آبخوبی، بهترین مدل تجربی انتخاب گردید. این مدل‌ها با برخی معیارهای آماری مانند، ضریب تبیین و خطای استاندارد در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در نهایت بهترین مدل شوری‌زدایی خاک منطقه مورد نظر و بهترین روش آبخوبی تعیین گردید. از آنجایی که از دیگر اهداف این پژوهش تعیین ضریب راندمان آبخوبی بود، با توجه به ارقام جداول ارائه شده و با استفاده از رابطه ۵ و ۶ ضریب راندمان آبخوبی خاک برای هر عمق تجمعی نیم‌رخ خاک نیز به صورت زیر به دست آمد (پذیرا، ۱۳۸۵):

$$f = \frac{r \cdot EC_w}{EC_{eq}} \quad r = \frac{Dw}{Dp} \quad \text{رابطه ۵:}$$

در رابطه ۵، EC_w هدایت الکتریکی آب آبخوبی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر، EC_{eq} هدایت الکتریکی نهایی لایه مورد نظر پس از کاربرد مقدار معینی آب آبخوبی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر، D_w عمق ناخالص آب آبخوبی بر حسب سانتی‌متر و D_p عمق خالص آب آبخوبی یا تراوشات عمقی ($D_p = D_{lw}$) بر حسب سانتی‌متر می باشد.

$$[Ln \frac{ECi-ECeq}{ECf-ECeq}] \times \theta v f = \frac{Ds}{Dtw} \quad \text{رابطه ۶:}$$

در (رابطه ۶)، θv ، رطوبت حجمی (Cm^3/Cm^3) و f ضریب راندمان آبشویی است که پارامتری بدون بعد است و سایر پارامترهای آن مانند رابطه ۴ تعریف می‌شود.

برحسب آنچه براساس بافت خاک انتظار می‌رفت نتایج برتر انتخاب شد و در نهایت با توجه به مقادیر پارامترهای فیزیکی خاک شامل درصد اندازه ذرات خاک، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل، معادله‌ای ریاضی برای روابط بین این پارامترها و ضریب راندمان آبشویی برتر حاصل شد. با قرار دادن مقادیر پارامترها در معادله به دست آمده، ضریب راندمان آبشویی جدیدی برای هر لایه از خاک محاسبه و بهترین رابطه برای محاسبه ضریب راندمان آبشویی در منطقه مورد نظر ارائه گردید.

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی به‌طور مستقیم با مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها مرتبط است. بنابراین به عنوان شاخصی مناسب برای شناسایی مقادیر کل نمک‌های موجود در آب آبیاری و عصاره اشباع خاک به حساب می‌آید (Alizadeh *et al.*, 2001). با مقایسه نتایج ارائه شده در جدول ۴. با مقادیر اولیه آن‌ها در جدول ۳ مشاهده می‌شود پس از کاربرد آب آبشویی، مقدار شوری خاک کاهش یافته است. این توزیع که عکس توزیع نمک‌ها پیش از آبشویی است، به علت شسته شدن نمک‌ها از سطح به عمق خاک می‌باشد. پس از آبشویی، کاهش زیادی در میزان شوری و درصد سدیم تبادلی در تمام لایه‌ها مشاهده شد. کاهش شوری برای لایه‌های سطحی به ویژه لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری، بیش‌تر بود. نتایج پژوهشگران در بخشی از اراضی جنوب شرق استان خوزستان نیز نشان می‌دهد که بیش‌ترین هدایت الکتریکی قبل از آبشویی به روش غرقاب متناوب مربوط به عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری خاک برابر با ۷۸/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر بوده است که پس از آبشویی با تناوب‌های ۲۵ سانتی‌متری با آبی با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در عمق مذکور، به‌طور متوسط به ۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافته است.

همین روند در مورد کاهش درصد سدیم تبادلی لایه‌ها نیز مشاهده شده است (Mohsenifar *et al.*, 2006). متوسط کاهش شوری و درصد سدیم تبادلی در روش‌های آبشویی غرقاب متناوب و پاششی به ترتیب ۸/۰۱ و ۹/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر ۴۴ و ۶۵ درصد نسبت به قبل از آبشویی می‌باشد کاهش ۶/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر هدایت الکتریکی خاک و ۴/۵۸ درصدی میزان سدیم تبادلی در روش آبشویی غرقاب متناوب پس از صرف ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی در تناوب‌های ۲۵ سانتی‌متری، تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاکی با بافت سیلتی رسی، در ۲۰ کیلومتری جنوب شهر اهواز توسط دیگر پژوهشگران نیز ارائه شده است (اسدی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۳: برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه پیش از آبخوبی^۱

| ESP | adjR_{Na} (meq/lit) ^{0.5} | SAR (meq/lit) ^{0.5} | گچ (درصد) | مواد آلی (درصد) | درصد کل مواد خنثی شونده T.N.V | pH | هدایت الکتریکی (dS/m) | عمق نمونه برداری (Cm) |
|-------|---|---------------------------------|--------------|--------------------|--|------|--------------------------|--------------------------|
| ۲۴/۹۰ | ۲۲/۱۰ | ۲۱/۵۰ | ۱/۵۳ | ۰/۴۰ | ۳۳ | ۸/۰۰ | ۳۴/۵۰ | ۲۵-۰ |
| ۱۴/۶۵ | ۱۰/۹۲ | ۱۰/۵۷ | ۰/۴۱ | ۰/۳۰ | ۴۱ | ۷/۹۰ | ۸/۹۷ | ۵۰-۲۵ |
| ۹/۷۷ | ۶/۵۱ | ۶/۳۰ | ۰/۷۰ | ۰/۲۰ | ۳۹ | ۸/۲۰ | ۷/۳۴ | ۷۵-۵۰ |
| ۸/۹۰ | ۴/۸۲ | ۴/۶۵ | ۰/۳۰ | ۰/۲۰ | ۳۹ | ۸/۰۰ | ۵/۷۱ | ۱۰۰-۷۵ |
| ۱۴/۵۵ | ۱۱/۰۸ | ۱۰/۷۵ | ۰/۵۱ | ۰/۲۷ | ۳۸ | ۸/۰۲ | ۱۴/۱۳ | میانگین |

۱. ارقام مندرج در این جدول میانگین سه رقم تجزیه می‌باشند.

به منظور بررسی بهتر نتایج مقادیر میانگین وزنی شوری اولیه و نهایی عصاره اشباع خاک پیش و پس از آبخوبی در هر روش آبخوبی با مقادیر متفاوت آب مورد استفاده محاسبه شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که میزان هدایت الکتریکی در هر روش نسبت به قبل از آبخوبی کاهش داشته است، لیکن اختلاف معنی‌داری در کاهش میزان شوری در هر دو روش آبخوبی نسبت به قبل از آبخوبی مشاهده نشده است ($P > 0.05$). همچنین عدم معنی‌داری میزان کاهش شوری میان دو روش نیز وجود دارد ($P > 0.05$). در روش آبخوبی غرقاب متناوب و پاششی در کاهش میزان درصد سدیم تبادلی خاک تفاوت معنی‌دار مشاهده شد ($P < 0.05$) و در مقایسه میانگین‌های آن‌ها کاهش درصد سدیم تبادلی خاک در روش غرقاب متناوب نسبت به قبل از آبخوبی اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داده است ($P < 0.05$). با توجه به مشابه بودن روند کاهشی درصد سدیم تبادلی از این پس به بررسی روند شوری زدایی و معادلات و مدل استخراج شده در مورد آن پرداخته خواهد شد. نتایج Rajabzadeh و همکاران (۲۰۰۹)، همچنین، نتایج اسدی و همکاران (۱۳۹۱) نیز مؤید روند کاهشی شوری و درصد سدیم تبادلی در لایه‌های خاک و مشابهت این کاهش در لایه‌های یکسان خاک می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه شده در کاهش میزان هدایت الکتریکی و درصد سدیم تبادلی خاک‌های شور و سدیمی منطقه می‌توان بیان کرد که آبخوبی غرقاب متناوب مناسب‌تر و قادر به کاهش میزان بیش‌تری از نمک‌های خاک بوده است. در پژوهشی که به منظور آبخوبی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های رسوبی و سنگین بافت شور و سدیمی بخشی از اراضی میانی خوزستان صورت گرفته است نیز، روش آبخوبی غرقاب متناوب در کاهش این نمک‌ها تاثیر مطلوبی داشته است. همچنین گزارش شده است این کاهش در لایه‌های سطحی نیم‌رخ خاک با بافت سیلتی رسی به دلیل تغییرات غرقاب متناوب میزان رطوبت خاک موثرتر بوده است (Rajabzade et al., 2009).

جدول ۴: برخی ویژگی‌های شیمیایی لایه‌های نیمرخ خاک پس از آبشویی به دو روش غرقاب متناوب، پاششی^۱

| روش آبشویی | عمق نمونه برداری (Cm) | EC (dS/m) | pH | T.N.V (درصد) | مواد آلی (درصد) | گچ (درصد) | SAR (meq/lit) ^{0.5} | adjR _{Na} (meq/lit) ^{0.5} | ESP |
|------------|-----------------------|-----------|------|--------------|-----------------|-----------|------------------------------|---|-------|
| | ۲۵-۰ | ۵/۱۷ | ۸/۰۰ | ۳۲/۳۰ | ۰/۳۰ | - | ۸/۵۶ | ۱۱/۰۰ | ۱۱/۵۵ |
| آبشویی | ۵۰-۲۵ | ۵/۳۶ | ۸/۱۰ | ۴۰/۵۰ | ۰/۵۰ | - | ۴/۹۲ | ۵/۷۵ | ۷/۰۹ |
| غرقاب | ۷۵-۵۰ | ۵/۵۵ | ۷/۷۰ | ۳۸/۵۰ | ۰/۳۰ | - | ۴/۴۰ | ۵/۲۶ | ۶/۳۳ |
| متناوب | ۱۰۰-۷۵ | ۸/۳۸ | ۷/۹۰ | ۳۸/۵۰ | ۰/۳۰ | - | ۸/۳۷ | ۸/۸۰ | ۱۱/۵۶ |
| | میانگین | ۶/۱۲ | ۷/۹۲ | ۳۷/۴۵ | ۰/۳۷ | - | ۶/۵۶ | ۷/۷۰ | ۹/۱۳ |
| | ۲۵-۰ | ۶/۸۷ | ۸/۴۰ | ۳۳/۰۰ | ۰/۳۰ | - | ۶/۳۱ | ۷/۰۹ | ۸/۸۴ |
| | ۵۰-۲۵ | ۵/۹۷ | ۷/۶۰ | ۴۱/۰۰ | ۰/۴۰ | - | ۴/۳۶ | ۵/۶۲ | ۶/۳۲ |
| آبشویی | ۷۵-۵۰ | ۳/۹۸ | ۷/۹۰ | ۳۸/۵۰ | ۰/۳۰ | - | ۴/۵۲ | ۵/۲۵ | ۶/۵۸ |
| پاششی | ۱۰۰-۷۵ | ۲/۹۲ | ۷/۸۰ | ۳۹/۰۰ | ۰/۳۰ | - | ۴/۲۱ | ۴/۸۳ | ۶/۱۶ |
| | میانگین | ۴/۹۴ | ۰/۹۲ | ۳۷/۵۰ | ۰/۳۷ | - | ۴/۵۸ | ۵/۶۹ | ۶/۹۸ |

۱. ارقام مندرج در جدول میانگین سه رقم تجزیه می‌باشند.

آبشویی با میزان ناکافی آب قابل انجام نمی‌باشد، هرچند که استفاده از آب اضافی ممکن است منجر به بروز مشکلاتی در ذخیره آب و سیستم زهکشی منطقه شود. همچنین، کاربرد آب اضافی در فرآیند آبشویی ممکن است منجر به خروج عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، نظیر یون‌های محلول، از منطقه رشد ریشه شود (Anapail, 2001). به همین منظور میزان آب لازم برای شوری‌زدایی خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از دو روش آبشویی غرقاب متناوب و پاششی نیز برآورد شده است. برای این برآورد می‌بایست ابتدا مدل تجربی مناسبی برای هر روش آبشویی ارائه گردد. بنابراین، با استفاده مقادیر کسر رطوبت خاکو مقادیر میانگین وزنی دو متغیر X و Y معرفی شده در رابطه ۴ محاسبه شد. براساس مقادیر X و Y به‌دست آمده چهار مدل ریاضی شامل مدل‌های معکوس، توانی، لگاریتمی و نمایی به آن‌ها برازش داده شد. بهترین مدل از نظر ضریب همبستگی بالاتر و خطای استاندارد کمتر برای هر روش آبشویی مشخص گردید که در هر دو روش مدل لگاریتمی مناسب تر بود.

با استفاده از منحنی‌های شوری‌زدایی به‌دست آمده می‌توان هدایت الکتریکی نهایی (EC_f) و عمق خالص آب مورد نیاز برای شوری‌زدایی خاک (DLW) را برآورد نمود. برآورد زمان و میزان آب مصرفی می‌تواند از هدررفت آب اضافی جلوگیری و از منابع آبی حفاظت نماید. به منظور محاسبه میزان آب لازم برای آبشویی خاک در هر روش می‌بایست رابطه ۴ را در معادله تجربی هر یک جایگزین نماییم. با انجام این کار عمق آب لازم برای شوری‌زدایی خاک در روش‌های غرقاب متناوب و پاششی به ترتیب از رابطه ۷ و ۸ قابل محاسبه است.

$$Dlw = Ds * e^{\left[\frac{\left(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} \right) - 0.476}{-0.201} \right]}$$

رابطه ۷: روش غرقاب متناوب

$$EC_f = \left[\left(0.476 - 0.201 \ln \left(\frac{Dlw}{Ds} \right) \right) * (EC_i - EC_{eq}) \right] - EC_{eq}$$

رابطه ۸: روش پاششی

$$ECf = \left[\left(0.549 - 0.213 \ln \left(\frac{Dlw}{Ds} \right) \right) * (ECi - ECeq) \right] - ECeq$$

$$Dlw = Ds * e^{\left[\frac{(ECf - ECeq) - 0.549}{-0.213} \right]}$$

بر مبنای روابط بالا میزان آب لازم برای آبخویی اعماق مختلف خاک منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. در این محاسبات شوری اولیه از ۳۶ تا ۸، شوری نهایی ۴ دسی زیمنس بر متر و مقدار شوری تعادلی برابر با ۲/۸۵ بوده است. به منظور بررسی دقیق تر، ضریب راندمان آبخویی برای هر روش آبخویی، در اعماق مختلف خاک محاسبه شد که به ترتیب با علامت f_1 و f_2 در جدول ۵ نشان داده شده است. بررسی معنی داری ارقام به دست آمده نشان داد که دو ضریب راندمان آبخویی اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر دارند ($P < 0.05$). لازم به ذکر است که ارقام حاصل از رابطه تحلیلی (رابطه ۶)، با بافت خاک منطقه که طبق نظر برخی محققین می بایست حدود ۰/۲ تا ۰/۳۷ به دست آید، همخوانی بهتری دارد (پذیرا، ۱۳۸۵). در پژوهش محمدزاده و همکاران (۱۳۹۲) دلیل کم بودن ضریب راندمان آبخویی را بافت سنگین خاک دانستند، زیرا در خاک های سنگین بافت، قابلیت نفوذ آب به خاک کمتر است. چگونگی منافذ درشت خاک متأثر از نوع ساختمان خاک است. بنابراین، متغیرهایی مانند جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک به عنوان شاخص های بیانگر ساختمان خاک، می توانند در سرعت نفوذ آب به خاک و افزایش راندمان آبخویی مؤثر باشند (پذیرا، ۱۳۸۵). با توجه به این مطالب بر اساس ارقام گزارش شده در جدول ۵ و فراوانی درصد اندازه خاک، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل در لایه های مختلف خاک معادله ای خطی به دست آمد که به صورت زیر می باشد:

$$Y = 9.78x_1 + 9.42x_2 + 9.87x_3 + 6.86x_4 + 17.15x_5 - 27.12 \quad \text{رابطه ۹}$$

در معادله فوق پارامتر Y ضریب راندمان آبخویی می باشد که بدون بعد است. در این معادله x_1 فراوانی رس، x_2 فراوانی سیلت و x_3 فراوانی شن خاک به صورت اعشاری می باشد. x_4 جرم مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سانتی متر مربع و x_5 تخلخل به صورت اعشاری بوده است. برخی پژوهشگران تحقیقاتی در زمینه برآورد ضریب راندمان آبخویی خاک نموده و مدل های نظری را در این زمینه ارائه نموده اند (Gupta and pandy, 1980). دیگر پژوهشگران با اندازه گیری غلظت یون کلر در زه آب خروجی از زهکش و اصلاح اراضی دشتی در اسپانیا، با کاربرد مدل نظری سری مخازن و ارائه مدل نظری دیگر، ضریب راندمان آبخویی خاک های منطقه مورد نظر را تعیین نمودند (Martinez Bardenas, 1978). با توجه به ارقام جدول ۵ و رابطه نوین رابطه ۹، ضریب راندمان آبخویی دیگری برای لایه های خاک محاسبه شد. این مقادیر در جدول مذکور با علامت f_3 نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود مقادیر به دست آمده از رابطه نوین با مقادیر

به‌دست‌آمده از رابطه تحلیلی رابطه ۶، مشابهت بیشتری دارد و در تحلیل آماری اختلاف آن‌ها معنی‌دار نبوده است ($P > 0.05$). لیکن تفاوت مقادیر f_3 با مقادیر به‌دست‌آمده از رابطه تجربی رابطه ۵، معنی‌دار بوده است ($P < 0.05$).

جدول ۲: برآورد ضریب راندمان آبشویی بر اساس خصوصیات فیزیکی خاک و مقایسه با مقادیر f_1 و f_2 در خاک منطقه مورد مطالعه در دو روش آبشویی

| روش آبشویی | | | | | | | | خصوصیات فیزیکی خاک و ضرایب راندمان آبشویی |
|-----------------|------|------|------|--------------|------|------|------|--|
| پاششی | | | | غرقاب متناوب | | | | |
| اعماق مختلف خاک | | | | | | | | |
| ۱۰۰-۰ | ۰-۷۵ | ۰-۵۰ | ۰-۲۵ | ۱۰۰-۰ | ۰-۷۵ | ۰-۵۰ | ۰-۲۵ | |
| ۰/۲۵ | ۰/۲۷ | ۰/۲۶ | ۰/۲۶ | ۰/۲۶ | ۰/۲۷ | ۰/۲۷ | ۰/۲۷ | رس |
| ۰/۴۷ | ۰/۴۷ | ۰/۴۵ | ۰/۴۵ | ۰/۴۹ | ۰/۴۹ | ۰/۴۸ | ۰/۴۷ | سیلت |
| ۰/۲۸ | ۰/۲۶ | ۰/۲۹ | ۰/۲۹ | ۰/۲۵ | ۰/۲۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۶ | شن |
| ۱/۷۵ | ۱/۷۳ | ۱/۶۵ | ۱/۴۳ | ۱/۷۵ | ۱/۷۳ | ۱/۷۳ | ۱/۷۸ | جرم مخصوص ظاهری |
| ۰/۳۳ | ۰/۳۵ | ۰/۳۸ | ۰/۴۶ | ۰/۳۴ | ۰/۳۵ | ۰/۳۵ | ۰/۳۳ | تخلخل |
| ۰/۴۸ | ۰/۴۲ | ۰/۳۷ | ۰/۲۳ | ۰/۵۶ | ۰/۵۴ | ۰/۴۱ | ۰/۲۹ | f_1 |
| ۰/۳۸ | ۰/۳۶ | ۰/۳۴ | ۰/۳۱ | ۰/۳۷ | ۰/۳۷ | ۰/۳۶ | ۰/۳۳ | f_2 |
| ۰/۳۶ | ۰/۳۴ | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۰/۳۵ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴ | ۰/۳۳ | f_3 |

نتایج مؤید این مطلب است که ضریب راندمان آبشویی به‌دست‌آمده قابل قبول و دارای ارزش است. همچنین می‌توان بیان کرد که علاوه بر بافت خاک، سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک، مانند جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک و روش آبشویی نیز در میزان ضریب راندمان آبشویی موثر می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود هرچه بافت خاک سنگین‌تر باشد و درصد ذرات سیلت و رس بیشتر و شن کمتر باشد، ضریب راندمان آبشویی کمتر است، که به سختی عبور آب آبشویی از میان منافذ ریز مربوط می‌باشد. هرچند ضریب راندمان آبشویی غرقاب متناوب، در لایه‌های مختلف خاک نسبت به روش پاششی بیشتر بوده است. لیکن این تفاوت بین روش‌های آبشویی معنی‌دار نبوده است. پژوهشگران گزارش کرده‌اند آبشویی نمک‌ها به شدت تحت تأثیر بافت خاک، کیفیت آب آبشویی، سرعت جریان آب و رطوبت اولیه خاک می‌باشد (Raj and Nath, 1980).

نتیجه‌گیری

خاک‌های مورد مطالعه تحت تأثیر شوری و سدیمی بودن به خاک‌های غیرقابل کشت یا با کیفیت پایین تبدیل شده‌اند. از طریق آبشویی صورت گرفته به دو روش در پژوهش حاضر مشخص شد که این خاک‌ها قابلیت شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی را دارند، به این صورت که شوری نیمرخ خاک، از کلاس شوری و قلیابیت S_2A_2 پیش از آبشویی، به کلاس شوری S_1A_1 در روش آبشویی غرقاب متناوب و کلاس S_1A_0 در آبشویی پاششی تقلیل یافت. بنابراین، توجه به روش آبشویی مناسب‌تر که بالاترین راندمان آبشویی و کم‌ترین میزان عمق آب لازم به منظور کاهش نمک‌های خاک و بهسازی منابع خاکی را داشته باشد، حائز اهمیت می‌باشد. از میان روش‌های مورد بررسی، آبشویی غرقاب متناوب در خاک مورد مطالعه نتایج

بهتری ارائه داده است. این نتایج هم در مورد ضریب راندمان آبخویی بالاتر و هم در مورد میزان عمق آب لازم کمتر، جهت اصلاح خاک در این روش آبخویی صدق می‌کند. یکی از گزینه‌های مهم برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی علاوه بر تعیین دقیق حجم آب مورد نیاز، تأمین آب با کیفیت مناسب جهت کاهش املاح خاک می‌باشد. با توجه به اینکه آب مورد استفاده در کلاس شوری متوسط و سدیم کم قرار دارد، پیشنهاد می‌شود از آب با کیفیت بهتر جهت اصلاح خاک منطقه مورد مطالعه استفاده شود. چنین شرایطی در صورت ترکیب حجمی آب غیرشور با آب مورد استفاده در منطقه قابل دستیابی است. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی، اصلاح خاک منطقه مورد مطالعه با کاربرد انواع اصلاح‌کننده‌های خاک‌های شور و سدیمی مورد بررسی قرار گیرد. تا به امروز تأثیرات این اصلاح‌کننده‌ها بر روی راندمان آبخویی به ندرت صورت گرفته است.

منابع

- اسدی کپورچال، ص.، همایی، م. و پذیرا، ا. (۱۳۹۱). مدلسازی آب آبخویی مورد نیاز برای بهسازی خاک‌های شور. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، جلد ۲، شماره ۲، ص: ۶۵-۸۲.
- پذیرا، ا. (۱۳۸۵). راهنمای کاربرد مدل‌های تجربی و نظری آبخویی نمک‌های خاک‌های شور. نشریه ی ۳۵۹، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ص: ۳۲-۵۷.
- پذیرا، ا. و همایی، م. (۱۳۸۵). گزینه‌های نو و برنامه‌های جایگزین برای توسعه پایدار کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک. علوم کشاورزی. جلد ۱، ص: ۱۷-۱.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۴). رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، چاپ پنجم، ص: ۴۴۳-۴۵۲.
- محمدزاده، م.، همایی، م. و پذیرا، ا. (۱۳۹۲). مدلی کاربردی برای بهسازی خاک‌های شور و سدیمی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، جلد ۳، شماره ۱، ص: ۴۳-۵۹.
- Alizadeh, A., Bazari, M.E. Velayati, S. Hasheminia, M. and yaghmai, A. (2001).** Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of Corn. ICID International workshop on wastewater Reuse Management. September 19-20. Seoul, Korea, pp: 147-154.
- Anapali, O., Shahin, V. Oztas, T. and Hanay, A. (2001).** Defining effective salt leaching regions between drains. Turk. J. agric, 25, pp:51-56.
- Asensioa, M.I., B. Ayusob, L. Ferraguta, and G. Sangalli. (2007).** Numerical methods for modelling leaching of pollutants in soils. 23, 8, pp: 1045-1055.

- Behzad, M. and Akhoond-Ali, A. (2002).** Investigation and presentation of desalinization and desodification experimental equations in Mollasani Region. Khozestan province. Scientific agriculture journal, 25, 1, pp: 106-126.
- Corwin, D.L., Rhoades, J.D. and Simunek, J.(2007).** Leaching requirement fore soil salinity control : Steady – state versus transient models. Agricul , Water Manage, 90(3):165-180.
- Dieleman, P. J. (1963).** Reclamation of salt affected soils in Iraq. Venman, Wageningen. 175 P.
- Farifte J., A. Farshad, and R.J . George. (2005).** Assessing salt – affected soils using remote sensing, solute modeling , and geophysics. Geoderma 130, pp: 191-206.
- GIGR, G. (1999).** Handbook of Agricultural Engineering. Land and Water Engineering ASAE, 1, pp: p 123.
- Gupta, S.K. and Pandey, R.N. (1980).** The leaching efficiency criterion and its evaluation during reclamation of saline soils. J. International symposium on salt-affected soil, 18-21 Feb, pp: 300-306.
- Islam, K. R. and R. R. Weil. (2000).** Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. Soil Water Conserv. 54, pp: 69-78.
- Konuku, F., G.W. Gowing, and D.A. Rose. (2005).** Dry drain:A sustainable solution to water logging and salinity problems in irrigation areas, Agricul, Water Manage. 83,1-2, pp:1-12.
- Li, F. H., and Keren, R. (2009).** Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study. Pedosphere, 19, pp: 465-475.
- Metternicht, GI. and Zinck, JA.(2003).** Remote sensing ofsoil salinity: potentials and constraints. Journal ofRemote Sensing of Environment, 58, 1-2, pp:1-20.
- Mohsenifar, K., Pazira, A. and Najafi, P. (2006).** Evaluation of different types of leaching models in two pilots of south east Khoozestan province. 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 6 page.
- Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M. Aghakhani, A. and Feizi, M. (2008).** Effects of leaching soil desalinization for wheat crop in an arid region. Plant Soil Envion, 54, pp: 20-29.
- Noroozi, A.A., Homaeae, M. and Farshad, A. (2012).** Integrated application of remote sensing and spatial statistical models to the identification of soil salinity: A case study from Garmsar plain, Iran. Environ Sci, 8, 1, pp :59-74.
- Pazira, E., Keshavarz, A., and K., Torii. (1998).** Studies on appropriate depth of leaching water, International Workshop on Use of Saline and Brackish-Water for Irrigation, Indonesia.
- Rajabzadeh, F., Pazira, E. Mahdian, MH. Mahmoudi, S. and Heidarizadeh, M. (2009).** Leaching saline and sodic soils along with reclamation-rotation program in the mid-part of Khuzestan, Iran. Journal of Applied Science, 9, pp: 4020-4025.

- Rodrigues da Silveria, K., M. Rosas Ribeiro, L. Bezerra de Oliveira, R. John Heck and R. Rodrigues da Silveira. (2008).** Gypsum-Saturated water to reclaim alluvi saline-sodic and sodic soils. *Sci. Agric.* 65, pp: 69-76.
- Van Hoorn, J.W., and Van Alphen, J.G. (1990).** Salinity control, salt balance and leaching requirement of irrigated soil. 26th international course on land drainage. Wageningen. The Netherlands, 96 page.