

## تأثیر شوری و سدیم آب آبیاری و بافت خاک بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک و رطوبت مناسب برای خاک‌ورزی

افروز تقی‌زاده‌قصاب<sup>1</sup>، آزاده صفادوست<sup>1</sup> و محمدرضا مصدقی

دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه بوعلی سینا؛ safrooztaghizadeh@gmail.com

استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه بوعلی سینا؛ safadoust@basu.ac.ir

استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ mosaddeghi@cc.iut.ac.ir

دریافت: 95/4/9 و پذیرش: 96/3/3

### چکیده

در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک، جمعیت در حال ازدیاد و نیاز به افزایش تولید مواد غذایی مدیران را به در نظر گرفتن هرگونه منبع آب برای رشد و توسعه بیشتر مجبور می‌کند. کیفیت آب آبیاری می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تغییر دهد. در این پژوهش اثر بافت خاک، شوری و سدیمی بودن آب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک بررسی شد. دو خاک با بافت لومرسی و لوم‌شنی با 12 نوع آب با کیفیت متفاوت، ترکیبی از چهار سطح شوری (EC) شامل 0/2، 1، 6 و 10 دسی‌زیمنس بر متر و سه سطح سدیمی‌بودن (نسبت جذب سدیم، SAR) شامل 1، 5 و 12، برای پنج بار تر و خشک شدند. حدود پایایی و شاخص‌های خمیرایی و تردی، رس قابل پراکنش و رطوبت بهینه در آزمون تراکم پروکتور اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تیمارهای آزمایشی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده را بطور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند که نشان‌دهنده تأثیر آب بر ریزساختمان و در نتیجه بر ویژگی‌های مکانیکی خاک می‌باشد. تأثیر شوری و سدیمی بودن آب در خاک لومرسی بیشتر از خاک لوم‌شنی مشاهده شد. در خاک لوم‌شنی، به علت وجود رس کم، تغییرات معنی‌داری در مورد حدود پایایی مشاهده نشد، در حالی که در خاک لومرسی این تغییرات بارز و مشخص بود. برای هر تیمار شوری، افزایش SAR آب سبب افزایش شاخص خمیرایی و کاهش شاخص تردی گردید، که هر دو از عوامل ایجادکننده خاک‌ورزی نامطلوب می‌باشند. افزایش کلسیم در هر تیمار SAR، سبب کاهش میزان رس قابل پراکنش و افزایش رطوبت بهینه آزمون پروکتور گردید.

**واژه‌های کلیدی:** حدود پایایی، سدیمی‌شدن، کیفیت آب، ویژگی‌های فیزیکی خاک، نسبت جذب سدیم

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

## مقدمه

کشور ایران پس از کشورهای مستقل مشترک‌المنافع، چین، هندوستان و پاکستان بیشترین گسترش خاک‌های شور و شور-سدیمی را در قاره آسیا به خود اختصاص داده است (زابلس، 1989)؛ به طوری که 25 میلیون هکتار، تقریباً معادل 15/2 درصد از مساحت کشور، اراضی تحت تأثیر شوری و قلیائیت می‌باشند (سیاری و محمودی، 2002). بیشتر زمین‌های شور و سدیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند (خان و همکاران، 2010؛ بردی و ویل، 2007) که شرایط خاص اقلیمی، بارش کم و تبخیر زیاد از عوامل محدودکننده کشاورزی در این مناطق محسوب می‌شوند. در این نوع خاک‌ها مشکلات مربوط به ساختمان خاک همچون فروپاشی آن، تورم، تخریب خاکدانه‌ها و ایجاد سله وجود دارد (فرایبه و همکاران، 2011). همچنین اختلال در حرکت هوا و آب، کاهش آب و عناصر غذایی قابل دسترس گیاه، جلوگیری از سهولت نفوذ ریشه و سبز شدن بذر و افزایش رواناب و فرسایش در این خاک‌ها نیز گزارش شده است (سوارز، 2001؛ غدیر و اسکرت، 2002).

امروزه به دلیل کمبود آب‌های مناسب برای کشاورزی، شورشدن زمین‌های غیرشور به علت آبیاری با آب‌های با کیفیت نامناسب، باغ‌ها و مزارع کشاورزی را تهدید می‌نماید. کیفیت آب آبیاری یکی از عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک می‌باشد (اوکابو، 2007؛ وینود و همکاران، 2010؛ هوریبالوسک و همکاران، 2011؛ پاکباز و علیپور، 2012). آب آبیاری با نسبت جذب سدیم<sup>1</sup> (SAR) زیاد به علت تخریب ساختمان خاک و پراکنش ذرات رس و متورم ساختن آنها موجب کاهش پایداری خاک می‌گردد. به گونه‌ای که افزایش SAR سبب تخریب خاکدانه‌ها و منافذ درشت می‌شود و تخلخل خاک را تغییر می‌دهد؛ همچنین سبب افزایش چگالی ظاهری خاک به دلیل افزایش منافذ ریز می‌شود که همه این تغییرات سبب ناپایداری ساختمان خاک و تخریب آن می‌گردد (اوهادی و گودزی، 2006؛ رین و لاج، 2003). اثر کیفیت آب آبیاری بر خاک به ویژگی‌های ذاتی خاک مانند مقدار و نوع رس بستگی دارد (سوارز و همکاران، 2006؛ اوستر و شینبرگ، 2001). رس خاک به دلیل بار و سطح ویژه زیاد نسبت به شن و سیلت، مهم‌ترین بخش پیکره خاک محسوب می‌شود (مکنیز، 2003) و بنابراین اثر سدیم بر ساختمان خاک بیشتر بستگی به مقدار رس خاک دارد.

با تغییر ویژگی‌های فیزیکی و پایداری خاک، شرایط خاک برای انجام عملیات کشاورزی نیز تغییر می‌کند. با وجود اینکه هدف از خاک‌ورزی ایجاد تغییر در خاک به‌منظور بهبود شرایط آن می‌باشد، یکی از مشکلاتی که ممکن است ضمن عملیات خاک‌ورزی به وجود آید تراکم خاک است که رابطه مستقیمی با ساختمان و رطوبت خاک دارد. برای کاهش احتمال ایجاد تراکم و انجام عملیات خاک‌ورزی صحیح، دو شاخص خمیرایی<sup>2</sup> و شاخص تردی<sup>3</sup> تعریف شده است. با کاهش شاخص خمیرایی و افزایش شاخص تردی، شرایط رطوبتی خاک برای انجام عملیات خاک‌ورزی مناسب می‌گردد (علیزاده، 1383). پژوهش‌ها نشان داده است که خاک‌ورزی در خاک بسیار مرطوب باعث افزایش تراکم و تخریب ساختمان خاک شده و همچنین سبب تشکیل کلوخه‌های بزرگی نیز می‌شود. از طرفی چنانچه رطوبت خاک خیلی پایین باشد، علاوه بر افزایش مصرف انرژی، کیفیت خاک‌ورزی نیز پایین می‌آید، زیرا نیروهای پیوستگی خاک بسیار زیاد شده و تمایل ذرات خاک برای تشکیل کلوخه افزایش می‌یابد (مصدقی و همکاران، 1378؛ کسل و ادواردز، 1985؛ وی و همکاران، 2009؛ دکستر و برد، 2001). نظریه‌های متفاوتی در رابطه با رطوبت مناسب برای خاک‌ورزی وجود دارد. حد خمیری معمولاً به عنوان بیشترین رطوبت مناسب کاشت و تهیه بستر بذر در نظر گرفته می‌شود (کریچ‌هوف، 2007). در حالی‌که بوشان و قیلیدان (1972) اظهار داشتند که بیشترین خاکدانه‌های کوچک، زمانی ایجاد می‌شود که خاک‌ورزی در رطوبت 0/6PL تا 0/9PL انجام شود. مولر و همکاران (2003) با توجه به اینکه بیشترین نرم‌شدگی خاک توسط ماشین‌های خاک‌ورزی در حداکثر چگالی پروکتور اتفاق می‌افتد، دریافتند که حداکثر رطوبت برای خاک‌ورزی برابر با رطوبت بهینه پروکتور می‌باشد. واگنر و همکاران (1992) دریافتند که در این رطوبت، انجام عملیات خاک‌ورزی حداکثر تخریب خاکدانه‌ها را سبب می‌شود.

با توجه به اینکه ترددپذیری خاک‌ها به طور معمول تحت تأثیر وضعیت رطوبتی و ساختمان خاک می‌باشد (گولسر و همکاران، 2009) و کیفیت آب آبیاری از راه تأثیر بر توزیع اندازه منافذ، پیوستگی و اعوجاج منافذ ساختمان خاک را تغییر می‌دهد (آسودان و همکاران، 2014؛ کولیس‌گرگ و فیگروا، 1984؛ کریس‌سیمانو و همکاران، 1995؛ رنگاسمی و اولسن، 1991)، آگاهی از اثر کیفیت آب آبیاری بر عملیات خاک‌ورزی برای

<sup>2</sup> Plasticity index

<sup>3</sup> Friability index

<sup>1</sup> Sodium adsorption ratio

تهیه این آب‌ها از رابطه‌های 1 و 2 استفاده شد:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{[Ca^{+2}]}} \quad (1)$$

$$TC = \sqrt{[Na^+]^2 + [Ca^{+2}]^2} \quad (2)$$

که در این روابط SAR نسبت جذب سدیم  $(meq L^{-1})^{1/2}$ ،  $[Na^+]$  و  $[Ca^{+2}]$  به ترتیب غلظت کاتیون‌های سدیم و کلسیم  $(meq L^{-1})$  و TC غلظت کل کاتیون‌ها  $(meq L^{-1})$  می‌باشند. برای انجام این پژوهش، نمونه‌های خاک از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند، سپس با آب‌های تهیه شده براساس تیمارهای پژوهش پنج دوره تر و خشک شدن را سپری کردند (ختار، 1391) تا بدین طریق عمل تبادل یونی بین محلول و سطوح تبادل صورت گیرد و نمک‌ها فرصت کافی برای تأثیرگذاری بر ریزساختمان خاک را داشته باشند. حد روانی خاک  $(\theta_{LL})$  با استفاده از دستگاه کاساگرانده به روش استاندارد انگلیسی شماره 1377 (موسسه استانداردهای بریتانیا، 1975) در سه رطوبت مختلف تعیین گردید. برای تعیین حد روانی، 200 گرم خاک عبور کرده از الک 0/4 میلی‌متر، با آب‌های تهیه شده براساس تیمارهای پژوهش مخلوط شد تا خمیری یکنواخت تهیه گردد. مقداری از این خمیر را در داخل کاسه برنجی دستگاه کاساگرانده قرار داده و با استفاده از تیغه شیارکش، شیاری (به عرض 13 میلی‌متر) در طول خاک ایجاد شد.

حد روانی، مقدار رطوبتی است که با 25 ضربه شکاف ایجاد شده توسط شیارکش بسته شود. حد خمیری  $(\theta_{PL})$  و حد انقباض  $(\theta_{SL})$  با استفاده از روش استاندارد انگلیسی شماره 1377 (موسسه استانداردهای بریتانیا، 1990) اندازه‌گیری شدند. حد خمیری درصد رطوبتی از خاک است که در آن فتیله تهیه شده از خاک به قطر 3 میلی‌متر شروع به ترک خوردن می‌کند و می‌شکند (مک براید، 1993). حد انقباض یک خاک نیز مقدار رطوبتی است که در آن با کاهش رطوبت، کاهش حجم اتفاق نمی‌افتد (هلتر و کواکز، 1981). پس از تعیین حدود فوق، آزمون تراکم پروکتور به روش BS شماره 1377 (موسسه استانداردهای بریتانیا، 1990) انجام شده و درصد رطوبت بهینه پروکتور و یا به عبارتی درصد رطوبت بحرانی با استفاده از منحنی تراکم خاک بدست آمد. در این آزمایش، خاک با میزان رطوبت معین در یک قالب با ابعاد مشخص (994 سانتی‌متر مکعب) با استفاده از انرژی تراکمی مشخصی (وزن چکش 24/4 نیوتن و ارتفاع سقوط 0/31 متر) تراکم می‌شود. با تعیین جرم خاک درون قالب و

جلوگیری از آسیب به ساختمان خاک اهمیت زیادی دارد. با وجود افزایش تقاضا برای غذا و کمبود منابع آبی مناسب همراه با افزایش جمعیت، بررسی اثر استفاده از آب‌های شور و سدیمی بر برخی ویژگی‌های خاک و مدیریت آنها لازم می‌باشد. اطلاع از پیامدهای استفاده از آب‌های آبیاری با کیفیت‌های متفاوت بر خاک و ویژگی‌های آن می‌تواند کشاورزان و مدیران مربوطه را در انتخاب یک مدیریت کشاورزی مناسب یاری کند. هدف از این پژوهش، بررسی اثرات شوری و سدیمی بودن آب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی در دو خاک با بافت مختلف می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثر شوری و سدیمی بودن آب بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک شامل حد روانی<sup>1</sup>، حد خمیری، حد انقباض<sup>2</sup>، شاخص خمیری، شاخص تردی، رس قابل پراکنش و رطوبت بهینه در آزمون تراکم پروکتور<sup>3</sup> انجام شد. نمونه‌برداری از زمین‌های زراعی واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی استان همدان از دو خاک لومرسی (CL) با طول و عرض جغرافیایی  $34^{\circ}52'42/1''N$ ،  $48^{\circ}32'9/1''E$  و لوم‌شنی (SL) با طول و عرض جغرافیایی  $34^{\circ}31'46/3''E$ ،  $34^{\circ}52'36/1''N$ ، در نوبت آیش (خاک‌ورزی نشده) انجام شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول 1 آورده شده است. از آنجا که در این پژوهش اثر بافت خاک به عنوان یکی از تیمارهای آزمایشی مورد نظر بود، تلاش شد که گزینش دو خاک با بافت ناهمانند به گونه‌ای صورت گیرد که از نظر ویژگی‌های شیمیایی مانند مقدار کربنات کلسیم و ماده آلی تفاوت معنی‌داری نداشته باشند و بیشترین تفاوت مربوط به درصد ذرات اولیه باشد.

تیمارهای آب ترکیبی از 4 سطح هدایت الکتریکی (EC) شامل 0/2، 1، 6 و 10 دسی‌زیمنس بر متر و 3 سطح نسبت جذب سدیم (SAR) شامل 1، 5 و 12 بودند که 12 تیمار متفاوت ایجاد کردند. در این پژوهش از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار استفاده شد. برای ساخت تیمارهای مذکور از نمک‌های خالص کلرید سدیم و کلرید کلسیم استفاده شد. مقادیر EC و SAR بر اساس دامنه گزارش شده برای آنها در آب‌های منطقه مورد مطالعه (جلالی، 2002)، انتخاب گردید. برای

1. Liquid limit

2. Shrinkage limit

3. Proctor test

2/5 سانتی متری سوسپانسیون آب و خاک، و خشک کردن آن در آون در دمای 110 درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه زیر درصد رس قابل پراکنش خاک بدست آمد (بورت، 2009):

$$\%Clay = 100 \times \left[ \frac{RW_2 \times CF}{TW} \right] \quad (3)$$

$$CF = \frac{40mL}{DV} \quad (4)$$

چگالی مرطوب خاک و همچنین اطلاع از میزان رطوبت خاک، چگالی خشک خاک محاسبه می‌شود. این آزمایش در میزان رطوبت‌های متفاوتی تکرار می‌شود تا منحنی تراکم خاک بدست آید. بر اساس تعریف، رطوبت متناظر با حداکثر مقدار چگالی ظاهری خاک را رطوبت بهینه پروکتور گویند (واگنر و همکاران، 1992).

رس قابل پراکنش خودبخودی خاک به روش نمونه‌برداری با یک پی‌پت به حجم 2/5 میلی‌لیتر از عمق

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

بافت خاک	رس %	سیلت %	شن %	کربنات کلسیم %	ماده آلی %	هدایت الکتریکی $dS m^{-1}$	pH
لوم‌شنی	18/2	20/6	61/2	2/16	1/12	0/20	7/91
لوم‌رسی	32/2	32/6	35/2	3/08	1/44	0/22	7/76

نظر گرفته شد و پس از محاسبه، با رطوبت پروکتور ( $\theta_{Proctor}$ ) به عنوان حداکثر رطوبت برای انجام عملیات خاک‌ورزی مقایسه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD انجام گرفت.

### نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر حدود پایایی خاک، شاخص‌های مربوط به آن، رس قابل پراکنش و رطوبت بهینه پروکتور در جدول 2 آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به جز اثر متقابل بافت خاک و شوری در خصوص حد خمیری، اثر تیمارهای آزمایشی شامل بافت خاک، شوری و سدیمی بودن و اثر متقابل آنها بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود.

که در رابطه 3 %Clay نشان‌دهنده ذرات خاک با قطر کمتر از 2 میکرومتر (درصد)،  $RW_2$ ، وزن نمونه پس از خشک‌شدن در آون (گرم)،  $TW$ ، وزن کل نمونه هوا-خشک (گرم)،  $DV$ ، حجم نمونه برداشته شده با پی‌پت (در اینجا 2/5 میلی‌لیتر) می‌باشد. شاخص خمیرایی از تفاوت حد روانی و حد خمیری (5) و شاخص تردی از تفاوت حد خمیری و حد انقباض (6) بدست آمد.

$$PI = \theta_{LL} - \theta_{PL} \quad (5)$$

$$FI = \theta_{PL} - \theta_{SL} \quad (6)$$

بر اساس تعاریف ارائه شده در رابطه با رطوبت مناسب برای انجام عملیات خاک‌ورزی (بوشان و قیلیدیان، 1972؛ مولر و همکاران، 2003؛ هوگمود و همکاران، 2003؛ کریچ‌هوف، 2007)، رطوبت مناسب برای خاک-ورزی مقدار رطوبت در 0/9 حد خمیری (0/9PL) در

جدول 2- تجزیه واریانس اثر تیمارهای بافت خاک (T) و کیفیت آب شامل رسانایی الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) و اثر متقابل آنها بر حد روانی ( $\theta_{LL}$ )، حد خمیری ( $\theta_{PL}$ )، 0/9 حد خمیری ( $\theta_{PL}$ )، حد انقباض ( $\theta_{SL}$ )، شاخص خمیرایی (PI)، شاخص تردی (FI)، رس قابل پراکنش ( $C_{DIS}$ ) و رطوبت بهینه پروکتور ( $\theta_{Proctor}$ )

$\theta_{Proctor}$	$C_{DIS}$	FI	PI	$\theta_{SL}$	0/9 $\theta_{PL}$	$\theta_{PL}$	$\theta_{LL}$	درجه آزادی	منع تغییرات
1127/85 **	231/42 **	6/60 **	5/30 **	27/60 **	231/81 **	1/04 *	36/88 **	1	T
222/29 **	122/68 **	35/13 **	6/43 **	140/40 **	1/01	4/12 *	76/64 **	4	EC
2358/62 **	190/96 **	86/63 **	207/96 **	21/84 **	3/97 *	251/95 **	3283/13 **	2	SAR
336/69 **	103/54 **	8/51 **	2/79 **	32/58 **	35/16 **	1/02	23/97 **	10	T×EC
770/08 **	130/33 **	22/58 **	36/41 **	35/44 **	48 **	36/21 **	497/27 **	6	T×SAR
533/92 **	77/53 **	27/59 **	44/61 **	53/47 **	1/05	47/21 **	655/48 **	13	EC×SAR
278/16 **	66/06 **	11/15 **	12/51 **	25/19 **	11/12 **	12 **	166/79 **	27	T×EC×SAR

1. \*\* و \* : به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری 1 و 5 درصد می‌باشند.

سدیم، سبب افزایش سطوح جذب آب در خاک شده و در نتیجه رطوبت حدود روانی و انقباض را افزایش داده است. نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول 3) نشان داد که اگرچه با افزایش SAR، در هر EC، مقدار حد خمیری تغییر یافته و افزایش نشان داده است، ولی تفاوت آنها معنی‌دار نبود.

الف) حد روانی، حد خمیری، حد انقباض، شاخص خمیرایی و شاخص تردی

مقایسه میانگین اثر تیمارهای کیفیت آب (میانگین بافت خاک) بر ویژگی‌های مورد بررسی در جدول 3 آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر EC مشخص، افزایش SAR سبب افزایش رطوبت حدود روانی و انقباض گردید (جدول 3). در واقع افزایش

جدول 3- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کیفیت آب (میانگین بافت خاک) شامل شوری (EC) و سدیمی بودن (SAR) بر حد روانی ( $\theta_{LL}$ )، حد خمیری ( $\theta_{PI}$ )،  $0/9$  حد خمیری ( $0/9 \theta_{PI}$ )، حد انقباض ( $\theta_{SL}$ )، شاخص خمیرایی (PI)، شاخص تردی (FI)، رطوبت بهینه پروکتور ( $\theta_{Proctor}$ ) و درصد رس قابل پراکنش ( $C_{DIS}$ )

$C_{DIS}$	$\theta_{Proctor}$	FI	PI	$\theta_{SL}$	$0/9 \theta_{PL}$	$\theta_{PL}$	$\theta_{LL}$	نمایه تیمار	SAR	EC
(%w/w)										
4/14 <sup>d</sup>	16/1 <sup>e</sup>	7/6 <sup>bcd</sup>	8/1 <sup>bcd</sup>	11/9 <sup>c</sup>	16/7 <sup>ab</sup>	18/6 <sup>ab</sup>	26/7 <sup>etg</sup>	EC <sub>0.2</sub> SAR <sub>1</sub>	1	0/2
8/25 <sup>b</sup>	14/7 <sup>f</sup>	5/1 <sup>e</sup>	9/2 <sup>ab</sup>	13/9 <sup>b</sup>	17/1 <sup>ab</sup>	19/0 <sup>ab</sup>	28/3 <sup>b</sup>	EC <sub>0.2</sub> SAR <sub>5</sub>	5	0/2
18/78 <sup>a</sup>	13/1 <sup>g</sup>	4/0 <sup>ef</sup>	10/2 <sup>a</sup>	15/5 <sup>a</sup>	17/6 <sup>a</sup>	19/6 <sup>a</sup>	29/9 <sup>a</sup>	EC <sub>0.2</sub> SAR <sub>12</sub>	12	0/2
1/54 <sup>ef</sup>	18/9 <sup>c</sup>	7/7 <sup>ab</sup>	7/5 <sup>cd</sup>	10/7 <sup>de</sup>	16/7 <sup>ab</sup>	18/5 <sup>ab</sup>	26/0 <sup>gh</sup>	EC <sub>1</sub> SAR <sub>1</sub>	1	1
2/56 <sup>e</sup>	17/8 <sup>d</sup>	5/2 <sup>cde</sup>	8/1 <sup>bcd</sup>	13/8 <sup>b</sup>	17/2 <sup>ab</sup>	19/1 <sup>ab</sup>	27/3 <sup>de</sup>	EC <sub>1</sub> SAR <sub>5</sub>	5	1
5/77 <sup>c</sup>	15/1 <sup>f</sup>	3/5 <sup>f</sup>	8/8 <sup>bc</sup>	15/7 <sup>a</sup>	17/4 <sup>ab</sup>	19/3 <sup>ab</sup>	28/1 <sup>bc</sup>	EC <sub>1</sub> SAR <sub>12</sub>	12	1
0/98 <sup>f</sup>	21/3 <sup>b</sup>	7/6 <sup>ab</sup>	8/0 <sup>bcd</sup>	10/6 <sup>de</sup>	16/4 <sup>b</sup>	18/2 <sup>b</sup>	26/3 <sup>fg</sup>	EC <sub>6</sub> SAR <sub>1</sub>	1	6
1/62 <sup>et</sup>	21/2 <sup>b</sup>	7/3 <sup>ab</sup>	8/2 <sup>bcd</sup>	11/1 <sup>cd</sup>	16/7 <sup>ab</sup>	18/5 <sup>ab</sup>	26/7 <sup>et</sup>	EC <sub>6</sub> SAR <sub>5</sub>	5	6
2/53 <sup>e</sup>	18/0 <sup>d</sup>	5/0 <sup>e</sup>	8/5 <sup>bc</sup>	13/9 <sup>b</sup>	17/0 <sup>ab</sup>	18/9 <sup>ab</sup>	27/5 <sup>dc</sup>	EC <sub>6</sub> SAR <sub>12</sub>	12	6
0/55 <sup>t</sup>	22/6 <sup>a</sup>	8/3 <sup>a</sup>	7/1 <sup>d</sup>	10/1 <sup>e</sup>	16/6 <sup>b</sup>	18/4 <sup>b</sup>	25/0 <sup>h</sup>	EC <sub>10</sub> SAR <sub>1</sub>	1	10
1/03 <sup>t</sup>	22/3 <sup>a</sup>	6/7 <sup>bc</sup>	7/6 <sup>cd</sup>	11/8 <sup>c</sup>	16/7 <sup>ab</sup>	18/5 <sup>ab</sup>	26/1 <sup>gh</sup>	EC <sub>10</sub> SAR <sub>5</sub>	5	10
1/30 <sup>et</sup>	22/1 <sup>a</sup>	5/2 <sup>de</sup>	8/2 <sup>bcd</sup>	13/9 <sup>b</sup>	17/2 <sup>ab</sup>	19/1 <sup>ab</sup>	27/3 <sup>de</sup>	EC <sub>10</sub> SAR <sub>12</sub>	12	10

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح آماری 5 درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تعدیل اثر SAR شده است، که می‌توان به اثر هم‌آوری ذرات خاک در اثر افزایش نمک‌ها (افزایش EC) اشاره کرد. به طوری که تیمار  $EC_{0.2} SAR_{12}$  دارای بیشترین شاخص خمیرایی (10/25) و کمترین شاخص تردی (4/09) بود و تیمار  $EC_{10} SAR_1$  دارای شاخص خمیرایی کمتر (7/14) و شاخص تردی بیشتر (8/34) بود. در واقع با افزایش غلظت کاتیون کلسیم از اثرات تخریبی کاتیون سدیم کاسته شده است. تغییرات ویژگی‌های خاک در این تیمارها را می‌توان با مقدار رس قابل پراکنش نیز مرتبط دانست. در تیمار  $EC_{0.2} SAR_{12}$  درصد رس قابل پراکنش برابر با 18/78 و برای تیمار  $EC_{10} SAR_1$  برابر با 0/55 بدست آمد. افزایش SAR به دلیل افزایش رس قابل پراکنش سبب افزایش شاخص خمیرایی و کاهش شاخص تردی گردید که بر خلاف اثر افزایش EC است (جدول 3).

ب) رس قابل پراکنش و رطوبت بهینه پروکتور

نتایج نشان داد که در یک EC معین (بجز 10 دسی زیمنس بر متر) با افزایش SAR مقدار رس قابل پراکنش افزایش و رطوبت بهینه پروکتور کاهش یافت (جدول 3).

باتوجه به جدول 3، در هر EC مشخص با افزایش SAR مقدار شاخص خمیرایی افزایش (بجز EC‌های معادل 6 و 10 دسی زیمنس بر متر) و شاخص تردی کاهش یافت که هر دو تغییر سبب می‌شود که عملیات خاک‌ورزی نتیجه مطلوب را نداشته باشد. در خاک‌هایی که شاخص خمیرایی زیاد دارند، انجام عملیات خاک‌ورزی سبب چسبیدن خاک به ادوات کشاورزی و تخریب ساختمان خاک می‌شود. همچنین با وجود صرف انرژی زیاد در این وضعیت، شرایط مطلوب برای بذور در خاک که هدف خاک‌ورزی است، حاصل نمی‌شود. در مقابل خاک‌هایی که شاخص تردی زیاد دارند مناسب‌ترین شرایط را برای خاک‌ورزی دارند. زیرا خاک به ادوات کشاورزی نمی‌چسبد و تخریب نمی‌شود. به عبارت دیگر در این خاک‌ها کمترین انرژی صرف خاک‌ورزی می‌شود (علیزاده، 1383). افزایش SAR با تخریب ریزساختمان خاک از طریق تأثیر بر جزء رس خاک و پراکنده کردن ذرات (ماوی و همکاران، 2012) سبب افزایش شاخص خمیرایی و کاهش شاخص تردی گردیده است (جدول 3). همچنین نتایج نشان می‌دهد که افزایش EC سبب

همکاران، 2010). در واقع افزایش سدیم با افزایش ناپایداری ساختمان خاک، سبب می‌شود که خاک در رطوبت‌های کم، نسبت به تراکم حساس شود و احتمال وقوع تراکم خاک افزایش یابد. در حالی که افزایش EC سبب افزایش مقدار رطوبت بهینه پروکتور یا به عبارتی افزایش دامنه رطوبتی تا ایجاد حداکثر تراکم یا حداکثر چگالی ظاهری گردید. همانطور که ذکر شد، این افزایش به علت بهبود ساختمان خاک می‌باشد که به دلیل افزایش کاتیون دو ظرفیتی کلیسم نسبت به کاتیون یک ظرفیتی سدیم و اثر آن بر هم‌آوری ذرات خاک ناشی از افزایش غلظت نمک‌های محلول خاک است. کمترین مقدار رطوبت بهینه پروکتور در تیمارهای  $EC_{0.2}SAR_{12}$ ،  $EC_{0.2}SAR_5$  و  $EC_{0.2}SAR_1$  به ترتیب برابر با 13/17%، 14/77% و 16/15% مشاهده گردید، که بیانگر اثر تخریبی سدیم به دلیل شعاع آب‌پوشی زیاد است، به ویژه هنگامی که غلظت سایر کاتیون‌ها کم باشد.

تأثیر بافت خاک بر حدود پایایی خاک، رطوبت بهینه پروکتور و رس قابل پراکنش در جدول 4 نشان داده شده است. اثر سدیم موجود در خاک، وابسته به مقدار رس خاک است (برزگر، 1379)، که ذرات این جزء دارای قطر کمتر از 2 میکرومتر می‌باشند. رس خاک به دلیل بار و سطح ویژه زیاد، مهم‌ترین بخش پیکره خاک محسوب می‌شود. سدیم زیاد به دلیل شعاع آب‌پوشی بزرگ منجر به آماس خاک می‌شود که ممکن است باعث متلاشی شدن ساختمان خاک و پراکنش خاکدانه‌ها شود (مکنیز، 2003). بنابراین می‌توان انتظار داشت که تأثیرپذیری خاک-هایی که رس زیاد دارند از تغییر کیفیت آب، بیشتر از خاک‌هایی باشد که دارای رس کمتر هستند. جدول 4 نشان می‌دهد که تغییر کیفیت آب بیشترین تغییر را در خاک لومرسی ایجاد کرده است. بارهای منفی ذرات رس توسط کاتیون‌های آب‌پوشی شده خنثی می‌شود. بنابراین، در خاک‌های قلیا که مقدار سدیم زیاد است، در سطح رس سدیم بیشتری قرار می‌گیرد و باعث تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود (غدیر و همکاران، 2007).

به طوری که در یک EC مشخص، بیشترین مقدار رس قابل پراکنش و کمترین رطوبت بهینه پروکتور در SAR برابر با 12 مشاهده گردید. رتبه‌بندی مقدار رس قابل پراکنش در بین تیمارها به ترتیب  $EC_{0.2}SAR_{12} < EC_1SAR_{12} < EC_6SAR_{12} < EC_{10}SAR_{12}$  بود، در حالی که رتبه‌بندی مقدار رطوبت بهینه پروکتور برعکس رتبه-بندی مقدار رس قابل پراکنش و به صورت  $EC_{10}SAR_{12} > EC_6SAR_{12} > EC_1SAR_{12} > EC_{0.2}SAR_{12}$  بدست آمد. در یک SAR مشخص با افزایش EC، مقدار رس قابل پراکنش کاهش و رطوبت بهینه پروکتور افزایش پیدا کرد و سبب کاهش اثرات تخریبی SAR گردید. مطابق جدول 3 در بیشترین مقدار SAR (12)، مقدار رس قابل پراکنش در ECهای 0/2، 1، 6 و 10 به ترتیب برابر با 1/30، 2/53، 5/77، 18/78 درصد بدست آمد. به عبارتی مقدار رس قابل پراکنش در حدود 69%، 56% و 48% به ترتیب در ECهای 1، 6 و 10 نسبت به EC 0/2 کاهش یافت. در واقع در EC کم، افزایش SAR سبب پراکنده-شدن ذرات خاک شده و با افزایش EC، به دلیل کم‌رنگ-شدن اثرات تخریبی سدیم به علت افزایش نسبت کاتیون دو ظرفیتی کلیسم به کاتیون تک ظرفیتی سدیم و هم‌آوری ذرات، اثر SAR نیز کم شده است.

رس به دلیل داشتن سطح ویژه زیاد و ویژگی‌های الکتروستاتیکی، از نظر فیزیکی و شیمیایی فعال بوده و نقش مهمی در به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها دارد. به طوری که پس از ماده آلی، یکی از مهم‌ترین عوامل در تشکیل و پایداری ساختمان خاک می‌باشد (رنگاسمی و همکاران، 1984). انجام عملیات خاک‌ورزی در رطوبت بهینه پروکتور سبب ایجاد بیشینه تراکم (بیشینه مقدار چگالی ظاهری) در خاک می‌گردد. نتایج نشان داد با افزایش SAR این حد آستانه کاهش یافت (جدول 3) که به معنی تراکم خاک در رطوبت‌های کمتر می‌باشد؛ یا به عبارتی خاک کشاورزی در رطوبت کمتر به این نقطه (رطوبت بهینه پروکتور)، که سبب تخریب ساختمان خاک می‌گردد، می‌رسد که می‌توان از دلایل آن به افزایش رس قابل پراکنش و تخریب ساختمان خاک اشاره کرد (یومش و همکاران، 2011؛ زورلر و

جدول 4- اثر بافت خاک بر درصد جرمی رطوبت در حدود پایایی، رطوبت

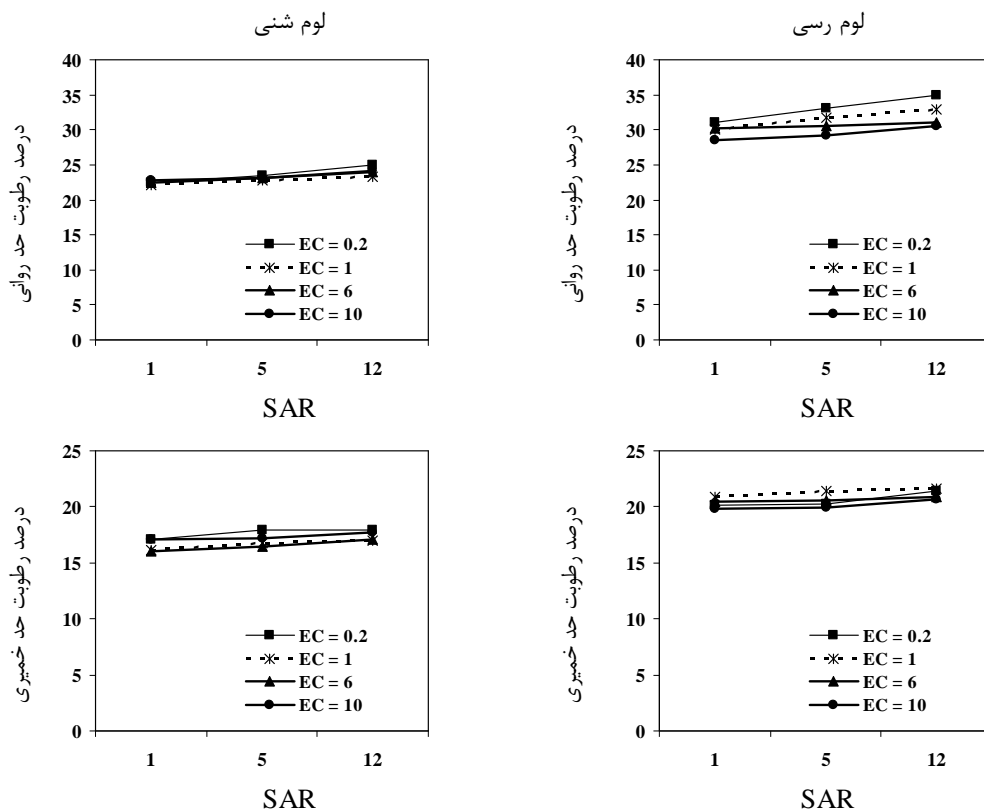
بافت خاک	بهینه پروکتور و رس قابل پراکنش						
	$C_{DIS}$	$\theta_{Proctor}$	FI	PI	$\theta_{SL}$	$\theta_{PL}$	$\theta_{LL}$
	(% w/w)						
لومرسی	5/66 <sup>a</sup>	21/1 <sup>a</sup>	0/07 <sup>a</sup>	10/4 <sup>a</sup>	13/2 <sup>a</sup>	20/6 <sup>a</sup>	31/1 <sup>a</sup>
لومشنی	2/51 <sup>b</sup>	16/1 <sup>b</sup>	0/04 <sup>b</sup>	0/06 <sup>b</sup>	12/2 <sup>b</sup>	17/0 <sup>b</sup>	23/2 <sup>b</sup>

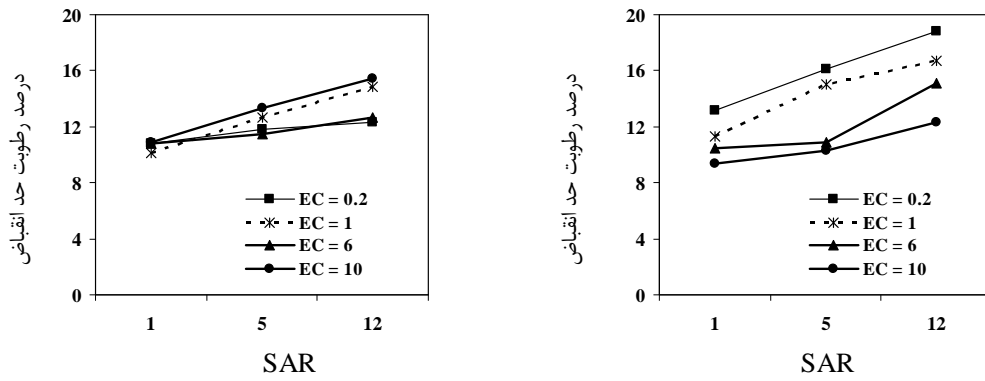
در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح آماري 5 درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

که برابر با 17/9 درصد بود در تیمارهای EC<sub>0.2</sub>SAR<sub>12</sub> و EC<sub>0.2</sub>SAR<sub>5</sub> مشاهده شد، ولی در خاک لومرسی (21/5 درصد) در تیمار EC<sub>1</sub>SAR<sub>12</sub> بدست آمد که البته با مقدار آن در تیمارهای EC<sub>1</sub>SAR<sub>5</sub> (21/4 درصد) و EC<sub>0.2</sub>SAR<sub>12</sub> (21/3 درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل 1).

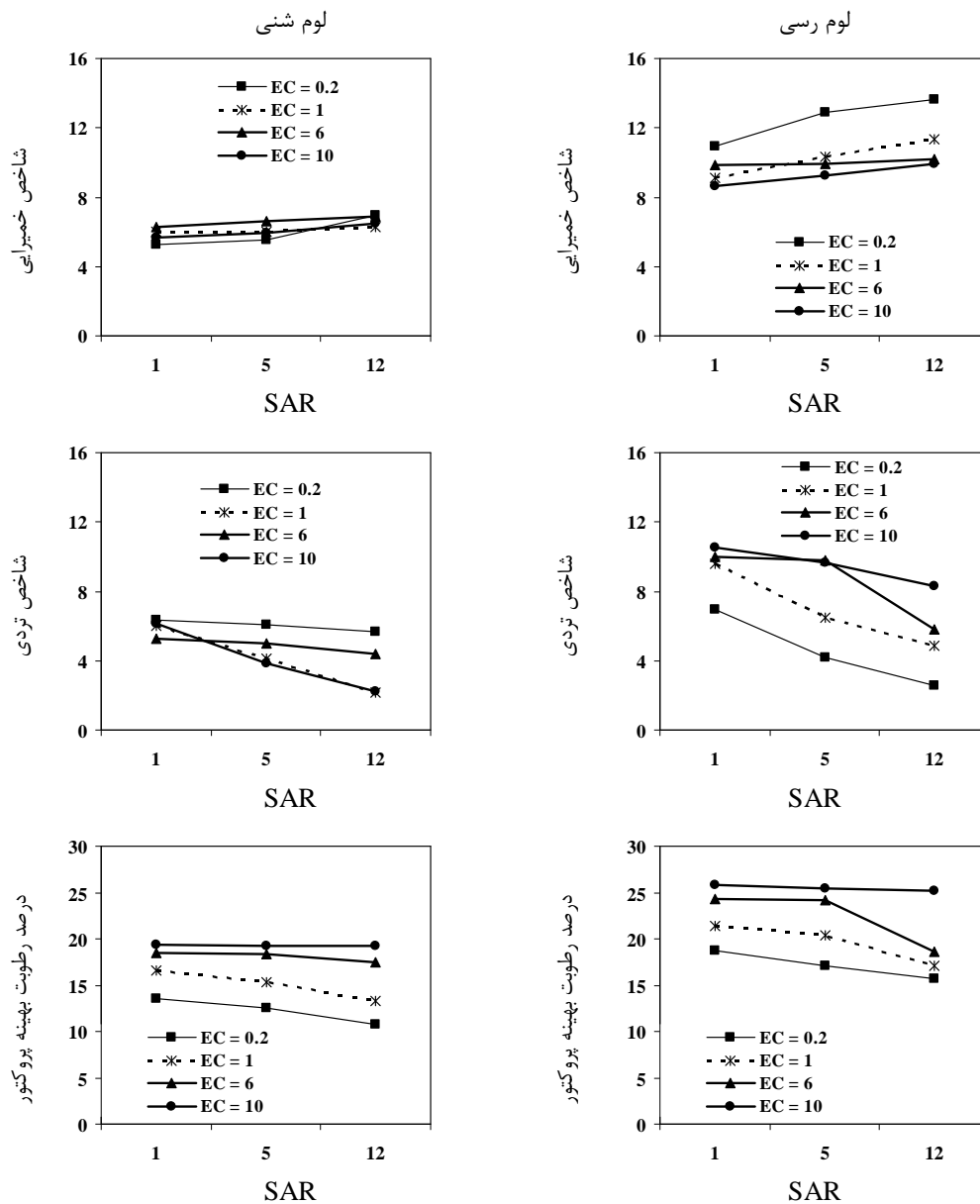
با افزایش سدیم، شاخص خمیرایی افزایش و شاخص تردی کاهش پیدا کرد؛ به طوری که بیشترین مقدار شاخص خمیرایی برابر با 0/136 و کمترین مقدار شاخص تردی برابر با 0/025 در تیمار EC<sub>0.2</sub>SAR<sub>12</sub> در خاک لومرسی مشاهده شد (شکل 2). کاتیون سدیم با پراکنش ذرات خاک و در نتیجه افزایش سطوح جذب آب در خاک، سبب افزایش حدود پایایی و کاهش شاخص تردی گردیده است (لبرون و همکاران، 1994؛ لبرون و سوازی، 1992).

تأثیر تیمارهای مختلف شوری و سدیمی، به تفکیک بافت خاک بر حدود روانی، خمیری و انقباض در شکل 1، شاخص‌های خمیرایی و تردی و رطوبت بهینه پروکتور در شکل 2 و رس قابل پراکنش در شکل 3 آورده شده است. همانطور که شکل 1 نشان می‌دهد بیشترین رطوبت حد روانی در خاک لومرسی (35%) و خاک لوم-شنی (25%) در تیمار EC<sub>0.2</sub>SAR<sub>12</sub> مشاهده شد که می‌تواند با مقدار رس قابل پراکنش مرتبط باشد. به طوری که با افزایش رس قابل پراکنش در خاک، مقدار رطوبت در حدود تعیین شده افزایش یافت (حایق و همکاران، 2013). استانچی و همکاران (2017) نیز وجود رابطه‌ای مثبت بین حدود پایایی و سطح ویژه ذرات خاک گزارش کردند. در این تیمار بیشترین مقدار رس قابل پراکنش در خاک لومرسی برابر با 25/94 درصد و در خاک لومشنی 11/61 درصد مشاهده شد (شکل 3). همچنین بیشترین رطوبت حد خمیری در خاک لومشنی





شکل 1- اثر شوری و سدیمی بودن آب بر حدود روانی، خمیری و انقباض در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی

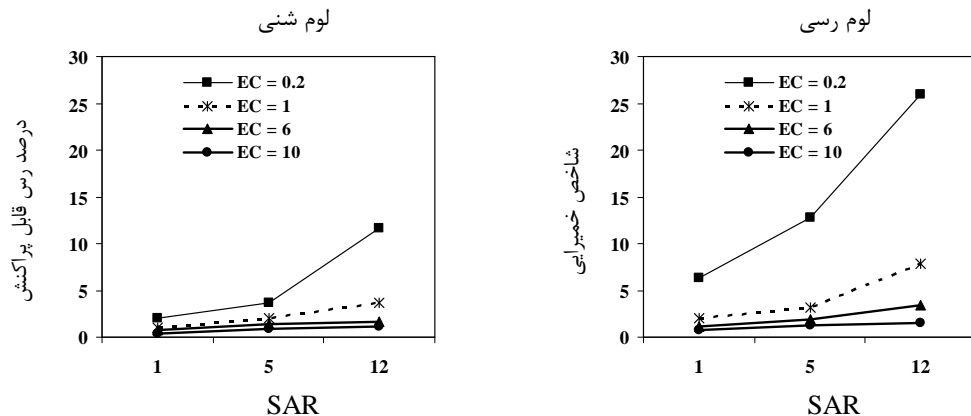


شکل 2- اثر شوری و سدیمی بودن آب بر شاخص خمیرایی، شاخص تدری و رطوبت بهینه پروکتور در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی



تیمارهای کیفیت آب قرار گرفت. زیرا حدود آتربرگ حدود رطوبتی است که در آنها ویژگی‌های مقاومتی خاک تغییر می‌کند و بیشتر برای خاک‌های چسبنده کاربرد دارند (علیزاده، 1383).

در واقع افزایش سدیم با تأثیری که بر مقدار رس قابل پراکنش می‌گذارد سبب افزایش شاخص خمیرایی و کاهش شاخص تردی خاک می‌شود (شکل 3). همانطور که در این شکل‌ها مشخص است ویژگی‌های خاک لومرسی نسبت به لومشنی بیشتر تحت تأثیر



شکل 3- اثر شوری و سدیمی بودن آب بر رس قابل پراکنش در خاک‌های لومرسی و لومشنی

تشکیل کلوخه و ایجاد شرایط نامناسب بستر بذر منجر می‌شود و باید در رطوبتی کمتر خاک‌ورزی انجام گردد. همچنین نتایج نشان داد که رطوبت مناسب برای انجام عملیات خاک‌ورزی در خاک‌های تیمار شده با آب-های با کیفیت متفاوت در بافت‌های مختلف خاک تا حدودی متفاوت بود (شکل‌های 1 و 2). به گونه‌ای که در خاک‌های لومشنی تیمار شده با آب‌های  $EC_{0.2}SAR_1$ ،  $EC_{0.2}SAR_5$ ،  $EC_{0.2}SAR_{12}$  و در خاک‌های لومرسی تیمار شده با آب‌های  $EC_{0.2}SAR_5$ ،  $EC_{0.2}SAR_{12}$ ،  $EC_6SAR_{12}$  و  $EC_1SAR_{12}$  رطوبت 0/9PL، بیشتر از رطوبت مناسب برای انجام عملیات خاک‌ورزی بود.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های مکانیکی خاک‌ها بستگی به اثر متقابل بین شوری و سدیمی بودن محلول خاک دارد و دامنه رطوبتی مناسب برای انجام فعالیت‌های کشاورزی نیز تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری قرار می‌گیرد. افزایش SAR آب سبب افزایش شاخص خمیرایی (بجز EC‌های معادل 6 و 10 دسی‌زیمنس بر متر) و کاهش شاخص تردی شد، که هر دو تغییر سبب می‌شوند عملیات خاک‌ورزی نتایج نامطلوبی به همراه داشته باشد. در خاک لومشنی تیمار شده با آب-های  $EC_{0.2}SAR_1$ ،  $EC_{0.2}SAR_5$ ،  $EC_{0.2}SAR_{12}$  و  $EC_1SAR_{12}$  و در خاک لومرسی تیمار شده با آب‌های  $EC_{0.2}SAR_5$ ،  $EC_{0.2}SAR_{12}$ ،  $EC_6SAR_{12}$  و  $EC_1SAR_{12}$  به علت غالب شدن اثر کاتیون سدیم و در نتیجه اثر آن بر

بر اساس نتایج بدست آمده، تیمارهای آب (شوری و سدیمی بودن) و بافت خاک بر رطوبت مناسب برای انجام عملیات خاک‌ورزی تأثیر داشتند (جدول 3). همانطور که در جدول 3 مشخص است، افزایش EC (میانگین بافت خاک و SAR) از 0/2 به 10 سبب کاهش رطوبت 0/9PL با مقادیر 17/16، 17/07، 16/68 و 16/8 به ترتیب برای EC‌های 0/2، 1، 6 و 10 شد؛ از طرفی افزایش رطوبت پروکتور با مقادیر 14/63، 17/27، 20/17 و 22/3 را به ترتیب برای EC‌های مذکور در پی داشت. در بررسی اثر SARهای تیمارهای آب (میانگین بافت خاک و EC) مقادیر 0/9PL به ترتیب 16/58، 16/90 و 17/30 در SARهای 1، 5 و 12 افزایش یافت، در حالی که  $\theta_{Proctor}$  به ترتیب 19/3، 19 و 17/08 کاهش یافت. با در نظر گرفتن رطوبت مناسب برای خاک‌ورزی برابر با 0/9PL و رطوبت نامناسب برای خاک‌ورزی برابر با رطوبت پروکتور ( $\theta_{Proctor}$ ) که منجر به بیشترین تراکم می‌گردد، عملیات خاک‌ورزی در خاک‌های تیمار شده با آب‌های دارای EC برابر با 0/2 دسی‌زیمنس بر متر و SAR برابر با 12، به علت داشتن رطوبت 0/9PL بیشتر از  $\theta_{Proctor}$ ، باید در رطوبتی کمتر از رطوبت 0/9PL انجام گیرد.

در مقایسه بین اثر متقابل تیمارهای آب (میانگین بافت)، در خاک‌های تیمار شده با آب‌های  $EC_{0.2}SAR_1$ ،  $EC_{0.2}SAR_5$ ،  $EC_{0.2}SAR_{12}$  و  $EC_1SAR_{12}$  به دلیل ذکر شده، انجام عملیات خاک‌ورزی در رطوبت 0/9PL به

0/9PL انجام داد. به طور کلی با افزایش شوری، مقدار رطوبتی که در خاک می‌توان عملیات خاک‌ورزی انجام داد تا نتیجه مطلوب حاصل شود نیز افزایش یافت؛ در حالی که با افزایش سدیم این دامنه رطوبتی کاهش نشان داد.

افزایش رس قابل پراکنش، سبب افزایش رطوبت حد خمیری و کاهش رطوبت پروکتور گردیده و در این شرایط باید در رطوبتی کمتر از 0/9PL خاک‌ورزی انجام شود. در سایر تیمارها به علت افزایش EC و اثر اصلاحی کاتیون کلسیم، می‌توان عملیات خاک‌ورزی را در رطوبت

### فهرست منابع:

1. برزگر، ع. 1379. خاک‌های شور و سدیمی: شناخت و بهره‌وری. انتشارات شهید چمران، اهواز، ایران. 273 صفحه.
2. مصدقی، م.ر.، م.ع. حاج عباسی، ع. همت، و م. افیونی. 1378. اثر رطوبت خاک و کود دامی بر تراکم پذیری خاک مزرعه لورک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 4، صفحات. 27-39.
3. ختار، م.، م.ر. مصدقی، ع.ا. محبوبی. 1391. اثر کیفیت آب آبیاری بر مقدار آب قابل استفاده برای گیاه و توزیع اندازه منافذ دو خاک آهکی با بافت متفاوت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 60، صفحات. 159-172.
4. علیزاده، ا. 1383. فیزیک خاک. چاپ چهارم، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، 567 صفحه.
5. Adesodun, J.K., A.A. Lasisi, F.K. Salako, and A.N. Njah. 2014. Maximum soil water content for optimum tillage operations along a toposequence in Isolu–Opeji, Southwest Nigeria. Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO) Nigeria Symposium. 307 – 319.
6. Brady, N.C., and R.R. Weil. 2007. The Nature and Properties of Soils. 14th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice–Hall.
7. British Standards Institution. 1975. Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. British Standards Institution, London.
8. British Standards Institution. 1990. Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. British Standards Institution, London.
9. Burt, R. 2009. Soil survey field and laboratory methods manual. National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, US Department of Agriculture.
10. Bushan, L.S., and B.P. Ghildyal. 1972. Influence of radius of curvature modelboard on soil structure. Indian Journal. Agricultural Science. 42: 1–5.
11. Cassel, D.K., and E.C. Edwards. 1985. Effects of subsoiling and irrigation on corn production. Soil Science Society of America Journal. 49(4): 996–1001.
12. Collis-George, N., and B.S. Figueroa. 1984. The use of high energy moisture characteristic to assess soil stability. Australian Journal of Soil Research. 22: 349–356.
13. Crescimanno, G., M. Iovino, and G. Provenzano. 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. Soil Science Society of America Journal. 59(6): 1701–1708.
14. Dexter, A.R., and N.R.A. Bird. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. Soil & Tillage Research. 57: 203–212.
15. Gulser, C., K.C. Selvi, and I.C. Serkan. 2009. Some Mechanical Properties and Workability of Soils in a Karadeniz Agricultural Research Institute Field. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi. 5(4): 423–428.
16. Gharaibeh, M.A., N.I. Eltaif, and A.A. Albalasmeh. 2011. Reclamation of highly calcareous saline sodic soil using Atriplex halimus and by-product gypsum. International Journal of Phytoremediation. 13(9): 873–883.
17. Haigh, S.K., P.J. Vardanega, and M.D. Bolton. 2013. The plastic limit of clays. Geotechnique, 63(6): 435–440.

18. Holtz R.D., and W.D. Kovacs. 1981. An Introduction to Geotechnical Engineering. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice-Hall Ina.
19. Hoogmoed, W.B., Cadena-Zapata, M., Perdok, U.D. 2003. Laboratory assessment of the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. *Soil & Tillage Research*. 74: 169–178.
20. Horpibulsuk, S., C. Phetchuay, and A. Chinkulkijniwat. 2011. Soil stabilization by calcium carbide residue and fly ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 24(2): 184–193.
21. Jalali, M. 2002. Composition of irrigation waters in west of Iran. In 17th World Congress of Soil Science in Bangkok, Thailand, August.
22. Khan, M.J., M.T. Jan, A.U. Khan, M. Arif, and M. Shafi. 2010. Management of saline sodic soils through cultural practices and gypsum. *Pakistan Journal of Botany*. 42(6): 4143–4155.
23. Kirchhof, G. 2007. Plastic properties. In Lal, R.(ed). “Encyclopedia of soil science 2nd ed”. New York, United States: Taylor & Francis. 1005–1007.
24. Lebron, I., and D.L. Suarez. 1992. Variations in soil stability within and among soil types. *Soil Science Society American Journal*. 56:1412–1421.
25. Lebron, I., D.L. Suarez, and F. Alberto. 1994. Stability of a Calcareous Saline-Sodic Soil During Reclamation. *Soil Science Society American Journal*. 58:1753–1762.
26. Mavi, M.S., J. Sanderman., D.J. Chittleborough, J.W. Cox, and P. Marschner. 2012. Sorption of dissolved organic matter in salt-affected soils: Effect of salinity, sodicity and texture. *Science of the Total Environment*. 435: 337–344.
27. McKenzie, D. 2003. Sodicity – a dirty word in Australia. *The Australian Cottongrower*. 24 (1): 28–32.
28. McBride, R.A. 1993. Soil consistency limits. In: Carter, M.R. (Ed.), *Soil sampling and methods of analysis*, Lewis Publishers. Pp. 519-527.
29. Mueller, L., U. Schindler, N.R. Fausey, and R. Lal. 2003. Comparison of methods for estimating maximum soil water content for optimum workability. *Soil & Tillage Research*. 72(1): 9–20.
30. Okagbue, C.O. 2007. Stabilization of clay using woodash. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 19(1): 14–18.
31. Oster, J.D., and I. Shainberg. 2001. Soil responses to sodicity and salinity. *Australian Journal of Soil Research*. 39(6): 1219–1224.
32. Ouhadi, V., and A. Goodarzi. 2006. Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum. *Engineering Geology*. 85: 91–101.
33. Pakbaz, M.S., and R. Alipour. 2012. Influence of cement addition on the geotechnical properties of an Iranian clay. *Applied Clay Science*. 67: 1–4.
34. Qadir, M., and S. Schubert. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degradation & Development*. 13: 275–294.
35. Qadir, M., J.D. Oster, S. Schubert, A. D. Noble, and K.L. Sahrawat. 2007. Phytoremediation of sodic and saline - sodic soils. *Advances in Agronomy*. 96: 197-247.
36. Raine, S.R., and R.J. Loch. 2003. What is a sodic soil? Identification and management options for construction sites and disturbed lands. *Workshop on Soils in Rural Queensland, Toowoomba, Queensland, Australia*.
37. Rengasamy, P., and K.A. Olsson. 1991. Sodicity and soil structure. *Australian Journal Soil Research*. 29: 935–952.
38. Rengasamy, P., R. Greene, G. Ford, and A. Mehanni. 1984. Identification of dispersive behavior and the management of red-brown earths. *Australian Journal of Soil Research*. 22: 413–431.

39. Sayyari, M.H., and S. Mahmood. 2002. An investigation on reason of soil salinity and alkalinity in some part of Khorasan Province (Dizbad-e-Pain Region), 17th World Congress of Soil Science, August 2002, Bangkok, Thailand.
40. Stanchi, S., M. Catoni, M.E. D'Amico, G. Falsone, and E. Bonifacio. 2017. Liquid and plastic limits of clayey, organic C-rich mountain soils: Role of organic matter and mineralogy. *CATENA*. 151: Pages 238–246.
41. Suarez, D.L., J.D. Wood, and S.M. Lesch. 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural Water Management*. 86: 150–164.
42. Suarez, D.L. 2001. Sodic soil reclamation: Modeling and field study. *Australian Journal of Soil Research*. 39: 1225–1246.
43. Szabolcs, I. 1989. *Salt-Affected Soils*. CRC Press, Inc.
44. Umesh, T.S., S.V. Dinesh, and P.V. Sivapullaiah. 2011. Characterization of dispersive soils. *Materials Sciences and Applications*. 2(06): 629–633.
45. Vinod, J., B. Indraratna, and M.A. Mahamud. 2010. Internal erosional behavior of lignosulfonate treated dispersive clay. *Geotechnical Society of Singapore - International Symposium on Ground Improvement Technologies and Case Histories, ISGI'09*: 549–554.
46. Wagner, L.E., N.M. Ambe and Barnes, P. 1992. Tillage-induced soil aggregate status as influenced by water content. *Transactions of the ASAE (USA)*. 35(2): 499–504.
47. Way, T.R., T. Kishimoto, H.A. Torbert, E.C. Burt, and A.C. Bailey. 2009. Tractor tire aspect ratio effects on soil bulk density and cone index. *Journal of terramechanics*. 46(1): 27–34.
48. Yiasoumi, W., L. Evans, and L. Rogers. 2005. *Farm water quality and treatment*. NSW Department of Primary Industries.
49. Zorluer, I., Y. Icağa., S. Yurtcu, and H. Tosun. 2010. Application of a fuzzy rule-based method for the determination of clay dispersibility. *Geoderma*. 160(2): 189–196.

## Effects of Salinity and Sodicity of Water and Soil Texture on Some Soil Mechanical Properties and Optimum Water Content for Tillage

A. Taghizadeh Ghassab, A. Safadoust<sup>1</sup>, and  
M. R. Mosaddeghi

Former MSc student, Bu-Ali Sina University;

E-mail: afrooztaghizadeh@gmail.com

Assistant Professor, Bu-Ali Sina University; E-mail: safadoust@basu.ac.ir

Professor, Isfahan University of Technology; E-mail: mosaddeghi@cc.iut.ac.ir

Received: June, 2016 and Accepted: May, 2017

### Abstract

In many arid and semi-arid countries, population growth and the need for increased food production are forcing the management planners to consider all sources of water to achieve further development. Water quality could affect soil physical, chemical, and biological properties. A laboratory experiment was carried out to study the effect of soil texture and salinity and sodicity of water on some physical and mechanical properties of the soil. Two soils with sandy loam and clay loam textures were treated with twelve waters with different qualities, i.e. combinations of four levels of salinity (EC) including 0.2, 1, 6, and 10 dS m<sup>-1</sup> and three levels of sodicity (SARs of 1, 5, and 12), and were subjected to wetting and drying for five times. The consistency limits, plastic and friability indices, dispersible clay and optimum water content in Proctor compaction test were determined. The significant effects of treatments on the determined soil properties suggested that water quality altered the soil microstructure. Effects of salinity and sodicity on clay loam soil were more than sandy loam soil. Unlike the clay loam soil, in the sandy loam soil, the consistency limits did not significantly change as a result of low clay content. At each salinity treatment, the higher the SAR of water, the greater was the impact on soil microstructure; as the plasticity index was increased and friability index was decreased, both might result in undesirable tillage operations. Increase in the calcium concentration at each SAR treatment reduced the dispersible clay and increased Proctor test optimum water content.

**Keywords:** Consistency limits, Water quality, SAR, Proctor test, Soil microstructure

---

<sup>1</sup> Corresponding authors: Hamadan, Bu-Ali Sina University, College of Agriculture, Department of Soil Science