

اثر آب شور و سدیمی بر برخی ویژگی‌های هیدرولیکی در خاک‌های لومی‌رسی و لومی‌شنی

افروز تقی‌زاده قصاب¹، آزاده صفادوست و محمدرضا مصدقی

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ afrooztaghizadeh@gmail.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ safadoust@gmail.com

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ mosaddeghi@yahoo.com

دریافت: 96/8/21 و پذیرش: 97/12/18

چکیده

در پژوهش حاضر، اثر کیفیت آب بر مقدار نگهداشت رطوبت خاک، ساختمان خاک و هدایت هیدرولیکی خاک در دو بافت متفاوت بررسی شد. نمونه‌های دست‌نخورده خاک از دو بافت لوم‌شنی و لوم‌رسی با استفاده از 6 تیمار کیفیت آب آبیاری شامل ترکیبی از 2 سطح شوری ($EC = 0/2$ و 10 دسی‌زیمنس بر متر) و 3 سطح سدیمی ($SAR = 1, 5$ و 12) پنج دوره تر و خشک را گذراندند. مقدار رطوبت نمونه‌های خاک در مکش‌های ماتریک 0.10 ، 20 ، 40 و 60 سانتی-متر در دستگاه جعبه شن و مکش‌های ماتریک 100 ، 300 ، 1000 ، 2000 ، 4000 و 15000 سانتی‌متر در دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. مدل ونگنوختن - معلم بر مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده، برازش داده شد سپس با استفاده از پارامترهای مدل برازش شده، رطوبت نقطه عطف (θ_{INFL}) و شاخص دکستر (S) محاسبه شدند. تخلخل درشت، تخلخل میانه، تخلخل ریز خاک و آب قابل استفاده خاک برای گیاه (AWC_{100} و AWC_{300}) محاسبه و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیز در نمونه‌های دست‌نخورده خاک اندازه‌گیری شد. پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی و در 3 تکرار بود. نتایج نشان داد که افزایش EC، سبب هم‌آوری ذرات خاک شد، به طوری که برخی منافذ جدید را در خاک ایجاد کرد و در نتیجه ظرفیت نگهداشت آب افزایش یافت. افزایش SAR سبب پراکنش ذرات ریز خاک گردید ولی با تبدیل برخی منافذ درشت و متوسط به منافذ ریز، مقدار آب نگهداری‌شده در مکش‌های ماتریک بالا افزایش یافت؛ اما مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه تغییرات معنی‌داری نشان نداد. همچنین افزایش شوری موجب افزایش رطوبت در تمام مکش‌ها گردید و بیشترین مقدار رطوبت نقطه عطف در شوری 10 dS m^{-1} بدست آمد. افزایش SAR و کاهش شوری خاک (EC) به طور مستقیم با کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع مرتبط بود. شاخص دکستر (S) با افزایش سدیم کاهش یافت، که بیانگر کاهش کیفیت فیزیکی خاک بود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت خاک، تخلخل خاک، مدل ونگنوختن - معلم

¹ نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

مقدمه

مقدار و نوع نمک موجود در آب آبیاری از عوامل مهمی است که در تعیین کیفیت خاک نقش به‌سزایی دارد. در اثر کاربرد آب با کیفیت نامطلوب انتظار بروز مشکلات مختلفی در زمینه کشاورزی می‌رود. از جمله عوامل نامطلوب می‌توان به افزایش مقدار سدیم تبدلی و شور شدن خاک‌ها اشاره نمود. بنابراین آبیاری با آب نامناسب سبب افزایش EC و SAR خاک‌های کشاورزی می‌گردد (مارچاک، 2013). ویل و همکاران (2016) اظهار کردند که سدیم اثرات نامناسبی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک خواهد داشت و با ایجاد سله سطحی و پراکنندگی سبب کاهش نفوذپذیری می‌گردد. کیفیت آب آبیاری یک عامل مهم در تغییر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از راه تأثیر بر ساختمان خاک، توزیع اندازه منافذ، پیوستگی و اعوجاج می‌باشد (لورنسون و هولبورک؛ 2011). مطالعات نشان داده است هنگامی که EC آب آبیاری پایین و SAR آن بالا باشد، پراکنده شدن ذرات خاک اتفاق خواهد افتاد؛ ولی افزایش EC به مقادیر بیشتر از یک حد آستانه، از پراکنده شدن ذرات خاک جلوگیری خواهد کرد.

بنابراین تأثیر متقابل EC و SAR در خاک‌ها سبب ایجاد انبساط و انقباض در خاک می‌شود. انبساط و انقباض خاک یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌باشد. با افزایش SAR، خاک منبسط شده (رنگاسمی و مارچاک، 2011) و در نتیجه در یک پتانسیل ماتریک مشخص، مقدار رطوبت افزایش خواهد یافت. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها به طور عمده به مقدار، اندازه و مقاومت خاکدانه‌ها و پایداری آنها در آب بستگی دارد (گادرو و همکاران، 2017). اثر تخریبی سدیم موجود در آب بر تخریب ساختمان و منافذ موجود در خاک از راه دو پدیده تورم کانی‌های رسی و از هم پاشیدن خاکدانه اتفاق می‌افتد. این فرآیندها باعث کاهش اندازه و پیوستگی منافذ خاک می‌گردند (مارچاک، 2013)؛ ولی اثر SAR بر پراکنش ذرات و تخریب ساختمان خاک به مقدار EC موجود نیز بستگی دارد و مقدار شوری تعیین‌کننده حد بحرانی تخریب ساختمان خاک توسط سدیم است (ویل و همکاران، 2016؛ کسلر و همکاران، 2010). علاوه بر این، اثر کیفیت آب آبیاری بر خاک به ویژگی‌های ذاتی خاک مانند مقدار و نوع رس نیز بستگی دارد (سوارز و همکاران، 2006). اثر بافت و کانی‌های خاک در مکش‌های ماتریک زیاد دیده می‌شود، به این دلیل مقدار رس سبب افزایش قدرت نگهداری آب خاک به ویژه در مکش‌های ماتریک

بالا می‌شود. خاک‌های با ساختمان پایدار دارای منافذ درشت بیشتری بوده و اثر بیشتری بر میزان رطوبت در مکش‌های ماتریک کم نشان می‌دهند (دکستر، 2004a). منحنی مشخصه رطوبتی خاک (SWCC)، مقدار نگهداشت رطوبت (به صورت وزنی یا حجمی) در برابر پتانسیل ماتریک را بیان می‌کند. این منحنی از جمله مشخصه‌های مهم فیزیکی و هیدرولیکی خاک است که با اندازه و پیوستگی منافذ در ارتباط است (بایرام و بهمنی، 1394؛ هیش و همکاران، 2017). همچنین رابطه نزدیکی بین منحنی رطوبتی و مقادیر شن، رس و چگالی ظاهری وجود دارد (نوتولا و همکاران، 2012). دکستر (2004b) و (2006) شیب منحنی مشخصه رطوبتی در نقطه عطف یا شاخص S را به عنوان معیاری برای نشان دادن کیفیت فیزیکی خاک مطرح نمود. مطالعات نشان می‌دهد که بافت خاک، مواد آلی موجود در خاک، چگالی ظاهری و مقاومت خاک به شدت شاخص S را تحت تأثیر قرار می‌دهد، که هر کدام از این پارامترها به نوعی با توزیع اندازه منافذ خاک در ارتباط می‌باشند (آسچونینیس و همکاران، 2015؛ کالونگو و روسولم، 2011).

بنابراین هر عاملی که سبب تغییر منحنی مشخصه رطوبتی خاک شود، شاخص S را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجایی که کیفیت آب آبیاری یکی از عوامل مهم مؤثر بر ویژگی‌های هیدرولیکی و نگهداشت آب در خاک می‌باشد، می‌توان انتظار داشت که بر حدود رطوبتی مهم گنجایش زراعی و نقطه پژمردگی دائم نیز تأثیرگذار باشد و در نهایت جذب آب توسط گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات نشان می‌دهد که همچنان پژوهش‌های گسترده‌ای در رابطه با اثر کیفیت آب آبیاری بر ویژگی‌های هیدرولیکی، به ویژه منحنی مشخصه رطوبت خاک (دکستر، 2004b)، نقطه پژمردگی دائم (θ_{pwp})، گنجایش زراعی (θ_{FC}) و میزان آب قابل استفاده خاک برای گیاه در مناطق مختلف با اقلیم متفاوت نیاز می‌باشد. لذا با توجه به اثرات مستقیم و غیر مستقیم کیفیت آب آبیاری بر پتانسیل آب، ساختمان و توزیع اندازه منافذ، مقاومت مکانیکی و در نتیجه کیفیت فیزیکی خاک، این پژوهش با هدف بررسی اثر کیفیت آب بر توزیع اندازه منافذ و مقدار آب قابل استفاده برای گیاه در دو خاک با بافت مختلف در استان همدان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نمونه‌های دست‌نخورده و دست‌خورده خاک از زمین‌های زراعی واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی استان همدان از دو خاک با بافت لومی‌رسی و لومی‌شنی، در نوبت آیش (خاک‌ورزی نشده) برداشته شد.

به روش تیتراسیون برگشتی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (راول، 1994) اندازه‌گیری شد. ویژگی‌ای نمونه خاک‌های مورد بررسی در جدول 1 آورده شده است. جدول 1 نشان می‌دهد مقدار هدایت الکتریکی، pH خاک و ماده آلی در هر دو نمونه خاک مورد بررسی تقریباً نزدیک به هم بوده است.

پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک شامل مقدار ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (والکلی و بلک، 1934)، چگالی ظاهری خاک با استفاده نمونه دست‌نخورده (ارشد و همکاران، 1996)، پی‌اچ خاک در نسبت خاک به آب 1:5 با استفاده از دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک به وسیله EC متر، کربنات کلسیم خاک

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

بافت خاک	رس	سیلت (%)	شن	چگالی ظاهری (g cm ⁻³)	ماده آلی (%)	هدایت الکتریکی (dSm ⁻¹)	pH	کربنات کلسیم (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol.kg ⁻¹)
	18/2	20/6	61/2	1/45	1/12	0/20	7/91	3/08	13/75
	32/2	32/6	35/2	1/35	1/44	0/20	7/76	2/16	24/98

معادله در هریک از تیمارها بدست آمد. معادله ون‌گنوختن (1980) برای SWCC به صورت زیر می‌باشد:

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left[1 + (\alpha h)^n \right]^m + \theta_r \quad (1)$$

در رابطه فوق پارامترهای θ_s ، θ_r و θ به ترتیب مقدار رطوبت اشباع (g g⁻¹)، مقدار رطوبت باقی‌مانده (g g⁻¹) و مقدار رطوبت خاک در مکش مورد نظر (g g⁻¹)، h مکش ماتریک (cm)، α عکس مکش ورود هوا در منحنی مشخصه رطوبتی (cm⁻¹)، n و m به ترتیب پارامترهای تجربی در ارتباط با توزیع اندازه منافذ و عدم تقارن منحنی (-) می‌باشند. پارامتر m با فرض معلم به صورت $m=1-1/n$ در نظر گرفته شد. در واقع ضرایب α ، n و m شکل منحنی مشخصه رطوبتی را نشان می‌دهند. همچنین رطوبت نقطه عطف (θ_{INFL}) و شیب منحنی در نقطه عطف (S_{INFL}) با استفاده از پارامترهای بدست آمده از مدل ون‌گنوختن-معلم به ترتیب با استفاده از معادله 2 و 3 محاسبه گردید:

$$\theta_{INFL} = (\theta_s - \theta_r) \left[1 + \frac{n}{n-1} \right]^{\left[\frac{1-n}{n} \right]} + \theta_r \quad (2)$$

$$S_{INFL} = -n(\theta_s - \theta_r) \left[\frac{2n-1}{n-1} \right]^{\left[\frac{1-2}{n} \right]} \quad (3)$$

در این رابطه شیب منحنی در نقطه عطف (شاخص S) که به عنوان کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شود، همیشه منفی بدست می‌آید، بنابراین مقدار مطلق شاخص S در نظر گرفته شود (عسگرزاده و همکاران، 2010). برای تعیین توزیع اندازه منافذ از داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی خاک استفاده گردید. بر اساس تعریف،

6 تیمار آب آبیاری که ترکیبی از ECهای 0/2 و 10 دسی‌زیمنس بر متر (dS m⁻¹) و SARهای 1، 5 و 12 بودند با استفاده از نمک‌های خالص کلرید سدیم و کلرید کلسیم ساخته شدند. تیمارهای کیفیت آب بر اساس دامنه EC و SAR در آب‌های آبیاری مناطق نیمه‌خشک استان همدان انتخاب گردید (جلالی، 2002). پیش از انجام هر آزمایش نمونه‌های خاک با محلول‌های مذکور تیمار شده و پنج دوره تر و خشک شدن را سپری کردند تا بدین طریق عمل تبادل یونی بین محلول و سطوح تبدالی صورت گیرد و نمک‌ها فرصت کافی برای تأثیرگذاری بر ریزساختمان خاک را داشته باشند. برای اعمال تیمارهای کیفیت آب بر خاک، نمونه‌های خاک به مدت یک شبانه روز با محلول مورد نظر و در ظروف در بسته (برای جلوگیری از تبخیر) اشباع شده تا تبادل یونی بین محلول و مکان‌های تبدالی خاک صورت گیرد. سپس نمونه‌ها به مدت 5 ساعت روی صفحه سرامیکی و تحت خلاء (مکش 100 سانتی‌متر) آب‌کشی شدند. این روش تر و خشک شدن، روش جایگزینی نامیده می‌شود (ختار و همکاران، 1391). نمونه‌های تیمار شده به منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک در مکش‌های ماتریک 0، 10، 20، 40 و 60 سانتی‌متر در دستگاه جعبه شن و مکش‌های ماتریک 100، 300، 1000، 2000، 4000 و 15000 سانتی‌متر در دستگاه صفحات فشاری قرار گرفت. سپس منحنی مشخصه رطوبتی برای 6 کیفیت آب آبیاری در دو نوع بافت خاک با رسم رطوبت در مقابل مکش ماتریک بدست آمد. در این پژوهش مدل ون‌گنوختن-معلم، بر داده‌های SWCC برازش داده شد و مقادیر پارامترهای

افزارهای SAS استفاده شد. برای رسم نمودارها از برنامه Excel و برای برازش مدل ون گنوختن-معلم بر داده‌های اندازه‌گیری شده از امکانات جانبی این نرم‌افزار به نام Solver استفاده شد. طرح آزمایشی مورد استفاده در این پژوهش فاکتوریل سه‌فاکتوره (یافت خاک، EC و SAR) در قالب طرح کاملاً تصادفی و در 3 تکرار بود. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شد.

بحث و نتایج

الف) اثر کیفیت آب بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک

اثر کیفیت آب آبیاری بر روی منحنی مشخصه رطوبتی خاک لوم‌رسی و خاک لوم‌شنی در شکل 1 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در منحنی مشخصه رطوبتی خاک لوم‌رسی در شوری $0/2ds\ m^{-1}$ رطوبت خاک در مکش‌های ماتریک کم، با افزایش سدیم کاهش یافته است. این امر به دلیل اثر تخریبی سدیم بر ساختمان خاک می‌باشد، بدین دلیل که یون سدیم با پراکنده کردن ذرات خاک سبب تخریب ساختمان خاک می‌شود و در نتیجه آن منافذ درشت به منافذ متوسط و ریز تبدیل می‌شوند (چاگانتی و همکاران، 2015). لذا با توجه به اینکه در مکش‌های کم، رطوبت خاک در منافذ درشت نگهداری می‌شود، در نتیجه با افزایش سدیم در مکش‌های ماتریک کم، رطوبت خاک کاهش می‌یابد، درحالی‌که در مکش‌های بالا با افزایش سدیم مقدار رطوبت افزایش یافته است. در مکش‌های بالا، رطوبت خاک در منافذ ریز نگهداری می‌شود و چون یون سدیم سبب تورم خاک می‌گردد، رطوبت خاک در این مکش‌ها افزایش پیدا کرده است (شکل 1).

همچنین افزایش سدیم سبب تخریب منافذ درشت و کاهش اندازه منافذ خاک می‌شود و در نتیجه قدرت نگهداشت رطوبت در مکش‌های بالا افزایش می‌یابد (عسگرزاده و همکاران، 2010). از طرفی سدیم، به ویژه در مکش‌های پایین، سبب آماس در خاک می‌شود و در نتیجه منافذ با اندازه بزرگ‌تر ایجاد می‌شود و می‌تواند قدرت نگهداشت آب خاک را کاهش دهد. برآیند این دو اثر سبب می‌شود که در برخی از موارد افزایش SAR قدرت نگهداشت آب خاک را کاهش دهد (ختار و همکاران، 1391). در خاک لوم‌شنی مقدار رطوبت در مکش‌های ماتریک کم، با افزایش SAR، کاهش و با افزایش شوری، در تیمارهای مختلف سدیم افزایش یافت (شکل 1). شکل منحنی رطوبتی خاک لوم‌شنی نشان‌دهنده اثر تخریبی سدیم بر ساختمان خاک و همچنین ساختمان ناپایدار در خاک لوم‌شنی است (شکل 1). تغییر شکل منحنی رطوبتی با افزایش شوری می‌تواند نشان‌دهنده اثر

منافذ بزرگتر از 300 میکرون منافذ درشت، منافذ بین 30 تا 300 میکرون منافذ متوسط، و منافذ کوچکتر از 30 میکرون منافذ ریز نامیده می‌شوند (بون و جرمن، 1982). با توجه به رابطه یانگ-لاپلاس، مکش معادل منافذ با قطر 300 و 30 میکرون به ترتیب برابر با 10 و 100 سانتی‌متر می‌باشد (کلوت، 1986). برای محاسبه تخلخل درشت (Macro-p) و تخلخل میانه (Meso-p) از معادلات 4 و 5 استفاده شد (صفادوست و همکاران، 1390):

$$\text{Macro-p} = \theta_s - \theta_{10\text{cm}} \quad (4)$$

$$\text{Meso-p} = \theta_{10\text{cm}} - \theta_{100\text{cm}} \quad (5)$$

تخلخل ریز خاک (Micro-p) نیز برابر با θ_{100} در نظر گرفته شد. مقدار رطوبت در مکش‌های ماتریک 100 و 300 سانتی‌متر (θ_{100} و θ_{300}) به عنوان گنجایش زراعی (θ_{FC}) و مقدار رطوبت در مکش ماتریک 15000 سانتی-متر (θ_{15000}) به عنوان نقطه پژمردگی دائم (θ_{pwp}) در نظر گرفته شد. مقدار θ_{100} که به عنوان θ_{FC} در نظر گرفته شد، در واقع برابر تخلخل ریز (Micro-p) می‌باشد و از تفاوت θ_{100} یا θ_{300} با θ_{15000} نیز برابر آب قابل استفاده خاک برای گیاه (به ترتیب AWC_{300} و AWC_{100}) محاسبه شد (عسگرزاده و همکاران، 2010):

$$AWC_{100} = \theta_{FC} - \theta_{pwp} = \theta_{100} - \theta_{15000} \quad (6)$$

$$AWC_{300} = \theta_{FC} - \theta_{pwp} = \theta_{300} - \theta_{15000} \quad (7)$$

لازم به ذکر است که در این روابط فقط اثر کیفیت آب آبیاری بر نگهداشت آب در خاک بررسی شده است و از اثر پتانسیل اسمزی ناشی از نمک‌های محلول بر مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه چشم پوشی شده است. برای بررسی اثر کیفیت آب آبیاری بر هدایت هیدرولیکی اشباع نمونه‌های دست‌نخورده برای هر یک از تیمارهای کیفیت آب از روش بار ثابت استفاده شد. در روش بار ثابت یا بار پایا، همان‌طور که از نام آن بر می‌آید، ارتفاع آب روی نمونه خاک ثابت باقی می‌ماند. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از قانون دارسی محاسبه گردید:

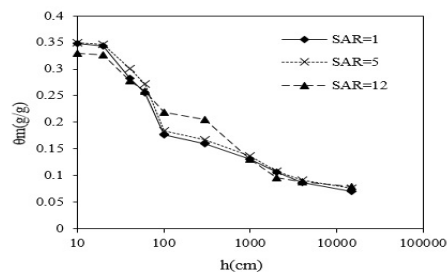
$$Q = -K_s \times A \times \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (8)$$

که در رابطه فوق، Q دبی یا گذردهی جریان آب (cm^3)، L ارتفاع نمونه (cm)، ΔH اختلاف سطح آب در دو قسمت ورودی و خروجی که در این روش همواره ثابت است (cm)، A سطح مقطع (cm^2) می‌باشد. برای بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج و مقایسه بین آنها از نرم-

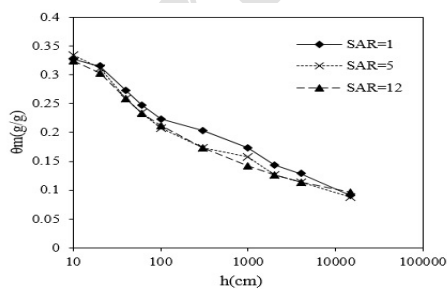
(آب نگهداری شده در منافذ ریز) می‌شود و ج) همچنین جذب اسمزی آب بین لایه‌های رسی در اثر شوری زیاد می‌تواند عامل مؤثر در نگهداشت بیشتر آب در مکش‌های ماتریک زیاد باشد (ختار و همکاران، 1391). نتایج نشان می‌دهد که افزایش SAR اثر شوری را کاهش داده و بنابراین با افزایش SAR مقدار رطوبت نگهداری شده روند کاهشی نشان داد (شکل 1). البته این امر در خاک لومرسی بیشتر مشاهده می‌شود. همچنین با افزایش سدیم، رطوبت در مکش 15000 سانتی‌متر نیز افزایش یافت که نشان‌دهنده آب باقی‌مانده در منافذ ریز و آب جذب سطحی شده است. در تیمار شوری 10 dS m^{-1} مقدار رطوبت، از آنجا که شوری سبب هم‌آوری ذرات و تبدیل منافذ میانه به درشت می‌شود (الجوبوری و همکاران، 2015)، رطوبت در مکش‌های پایین افزایش یافت. از طرفی چون شوری سبب هم‌آوری ذرات و ایجاد منافذ ریز جدید می‌شود (ختار و همکاران، 1391)، رطوبت در مکش‌های بالا نیز افزایش یافت. در مکش‌های بالا تأثیر تیمار شوری به خوبی مشاهده شده است و تفاوت معنی‌دار بین تیمارها وجود دارد (شکل 1).

شوری در کاهش اثر تخریبی سدیم باشد. در مکش‌های ماتریک بالا روند تغییرات به وضوح خاک لومرسی نبود که می‌تواند به دلیل اثر مقدار رس در جذب آب باشد. این اثر بیشتر در خاک لومرسی مشهود بود زیرا خاک لومرسی دارای سطوح کلئیدی بیشتری بوده و در نتیجه بیشتر تحت تأثیر کیفیت آب قرار گرفت (شکل 1). همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار رطوبت خاک لومرسی نسبت به خاک لوم‌شنی بیشتر بوده، که به علت تفاوت سطح کلئیدی در بافت به وجود آمده است. با افزایش EC، شیب منحنی SWCC کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش رطوبت در مکش‌های بالا در بین تیمارها می‌باشد. در EC برابر 10 dS m^{-1} افزایش رطوبت در مکش‌های بالا در SAR برابر 1 بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل 1). همان‌طور که مشاهده می‌شود در EC معادل 10 dS m^{-1} با افزایش سدیم، مقدار رطوبت کاهش یافت. از دلایل آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: الف) شوری سبب هم‌آوری ذرات و تبدیل منافذ میانه به منافذ درشت و افزایش آنها می‌شود، ب) شوری با کاهش ضخامت لایه دوگانه پخشیده و افزایش فراوانی منافذ ریز سبب افزایش θ_{PWP}

لومرسی

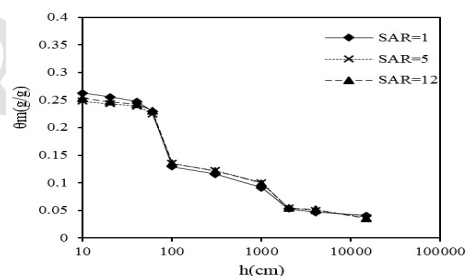


شوری $0/2 \text{ dS m}^{-1}$

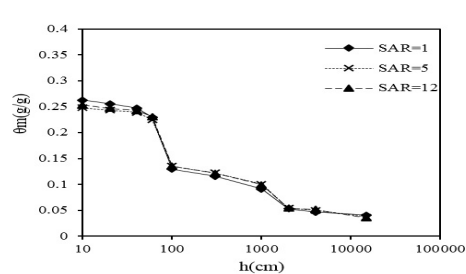


شوری 10 dS m^{-1}

لوم‌شنی



شوری $0/2 \text{ dS m}^{-1}$



شوری 10 dS m^{-1}

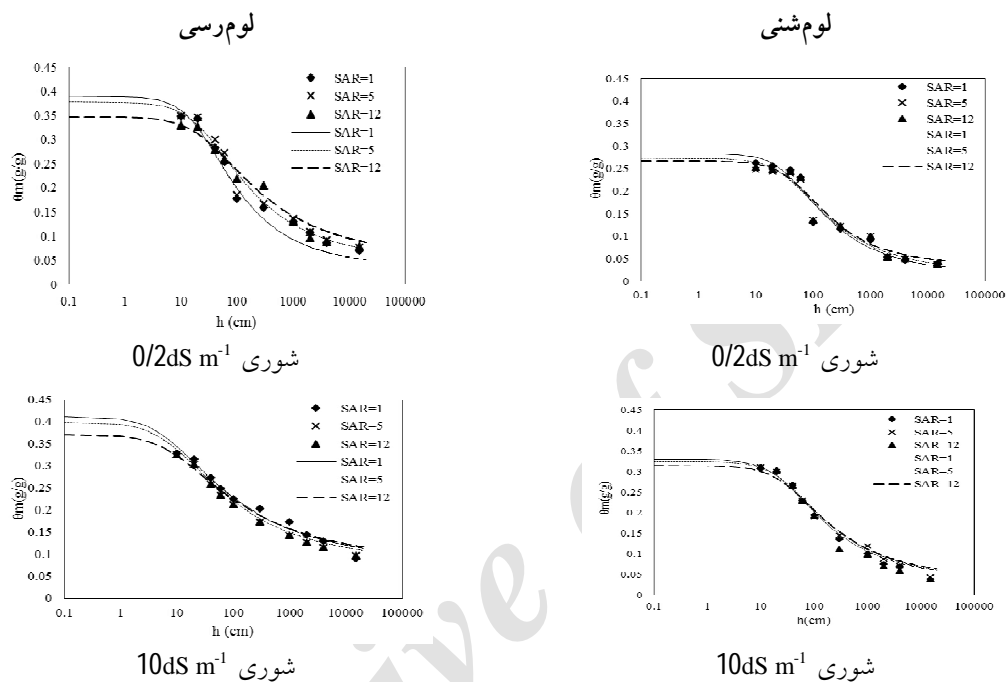
شکل 1- اثر قلیائیت (SAR) در شوری‌های (EC) متفاوت بر شکل منحنی مشخصه رطوبتی

نشان می‌دهد که با افزایش شوری مقدار رطوبت خاک افزایش و شیب منحنی مشخصه رطوبتی کاهش یافته است، درحالی که با افزایش SAR اثر شوری بر مقدار رطوبت

(ب) اثر کیفیت آب بر ضرایب مدل ون‌گنوختن-معلم نتایج برازش مدل ون‌گنوختن-معلم بر منحنی مشخصه رطوبتی در تیمارهای مختلف خاک (شکل 2)

بررسی مقادیر آماری R^2 و RMSE نشان می‌دهد که مدل ون‌گونختن-معلم در تیمارهای کیفیت آب آبیاری، به خوبی توانسته است روند تغییرات منحنی‌های مشخصه رطوبتی را پیش‌بینی نماید (R^2 بالا و RMSE پایین). همچنین ضریب تغییرات (CV) بین داده‌های اندازه‌گیری شده و برازش مدل نیز پایین بود (جدول 2).

کاهش می‌یابد. از سوی دیگر افزایش سدیم (SAR) در خاک سبب کاهش شیب منحنی رطوبتی در مکش‌های بالا شده است، که می‌تواند نشان‌دهنده جذب آب بیشتر توسط یون سدیم به علت شعاع یونی زیاد و افزایش منافذی با قطری که آب را در مکش‌های بالا نگهداری می‌کند، باشد. برای ارزیابی مدل ون‌گونختن-معلم مقادیر آماری R^2 ، RMSE و CV در جدول 2 آورده شده است.



شکل 2- برازش معادله ون‌گونختن-معلم (خط) بر داده‌های اندازه‌گیری شده (نقاط) منحنی مشخصه رطوبتی دو خاک لوم‌شنی و لوم-رسی تحت تیمارهای کیفیت آب آبیاری

جدول 2- آماره‌های کیفیت برازش مدل ون‌گونختن-معلم بر داده‌های اندازه‌گیری شده

CV		RMSE		R^2		SAR	EC (dSm ⁻¹)
لوم‌شنی	لوم‌رسی	لوم‌شنی	لوم‌رسی	لوم‌شنی	لوم‌رسی		
0/01	0/014	0/018	0/026	0/96	0/98	1	0/2
0/008	0/013	0/018	0/018	0/96	0/97	5	0/2
0/009	0/012	0/019	0/025	0/96	0/96	12	0/2
0/012	0/009	0/011	0/014	0/99	0/98	1	10
0/01	0/01	0/011	0/012	0/99	0/100	5	10
0/012	0/009	0/022	0/016	0/99	0/100	12	10

با مقدار 0/082 در تیمار شوری 10 dSm⁻¹ در SARهای 5 و 12 و کمترین آن در خاک لوم‌شنی با مقدار 0/017 در تیمار شوری (EC) 0/2 dSm⁻¹ در SAR برابر 1 بدست آمد. در عین حال، مقدار رطوبت اشباع θ_s در مدل ون-گونختن-معلم با افزایش شوری افزایش و با افزایش SAR کاهش یافت. به طوری که بیشترین مقدار رطوبت

در مقایسه میانگین اثر تیمار بافت و کیفیت آب آبیاری بر پارامترهای هیدرولیکی بهینه‌شده مدل ون-گونختن-معلم (جدول 3) نشان می‌دهد که پارامتر θ_r با افزایش SAR و شوری (EC) افزایش یافت، به طوری که با توجه به اثر تیمارهای کیفیت آب در بافت‌های مختلف خاک، بیشترین مقدار رطوبت باقی‌مانده در خاک لوم‌رسی

زمانی که مقدار منافذ درشت در خاک بیشتر باشد، پارامتر n نیز بیشتر خواهد شد. همچنین این پارامتر در خاک‌های درشت بافت به نسبت خاک‌های ریز بافت بیشتر است (پروسکا و همکاران، 2005). در این پژوهش، کمترین مقدار پارامتر n در تیمار کیفیت آب با شوری 10 dSm^{-1} و SAR معادل 12 در خاک لومرسی با مقدار $1/279$ بدست آمد و این امر نشان دهنده کاهش شیب منحنی مشخصه رطوبتی می‌باشد (جدول 3).

اشباع θ_s در تیمار شوری 10 dSm^{-1} در SARهای 1، 5 و 12 به ترتیب با مقادیر $0/371$ ، $0/398$ ، $0/411$ در خاک لومرسی بدست آمد. پارامترهای α ، n و m با افزایش سدیم SAR و شوری (EC) در تیمارهای کیفیت آب، کاهش نشان دادند، اما این روند در خاک لومرسی به علت ویژگی‌های ذرات رس واضح‌تر بود (جدول 3). کاهش پارامترهای n نشان دهنده کاهش منافذ درشت و افزایش منافذ ریز در نتیجه کاربرد تیمارهای کیفیت آب می‌باشد.

جدول 3- مقایسه میانگین اثر تیمارهای بافت، شوری و سدیمی بودن بر پارامترهای مدل ون گنوختن-معلم

m (-)	n (-)	α cm^{-1}	θ_s g g^{-1}	θ_r g g^{-1}	SAR	EC (dSm^{-1})
						لومرسی
0/325 ^{ab}	1/490 ^{bc}	0/047 ^b	0/390 ^{abc}	0/035 ^d	1	0/2
0/289 ^{bc}	1/407 ^{cd}	0/040 ^b	0/377 ^{bc}	0/052 ^{cb}	5	0/2
0/252 ^{cde}	1/338 ^{def}	0/037 ^b	0/346 ^a	0/055 ^b	12	0/2
0/229 ^{de}	1/29 ^{def}	0/156 ^a	0/411 ^a	0/081 ^a	1	10
0/250 ^{cde}	1/287 ^{ef}	0/131 ^a	0/398 ^{ab}	0/082 ^a	5	10
0/219 ^e	1/279 ^f	0/126 ^a	0/371 ^c	0/082 ^a	12	10
						لومشنی
0/272 ^{cc}	1/693 ^a	0/028 ^d	0/283 ^f	0/017 ^e	1	0/2
0/291 ^{bc}	1/558 ^d	0/026 ^d	0/272 ^f	0/022 ^e	5	0/2
0/347 ^a	1/533 ^d	0/020 ^d	0/266 ^f	0/036 ^a	12	0/2
0/287 ^{bc}	1/403 ^{cde}	0/038 ^b	0/330 ^{de}	0/040 ^d	1	10
0/283 ^{bc}	1/395 ^{cde}	0/034 ^b	0/325 ^{de}	0/040 ^{cd}	5	10
0/278 ^{cc}	1/385 ^{cde}	0/033 ^b	0/315 ^e	0/041 ^{cd}	12	10

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

درشت (Macro-p) موجب افزایش منافذ درشت (Macro-p) خاک شده است. از طرفی با افزایش شوری (EC) مشاهده شد که فراوانی منافذ ریز (Micro-p) نیز افزایش یافت. شوری به علت هم‌آوری ذرات و ایجاد منافذ ریز جدید، فراوانی منافذ ریز خاک (Micro-p) را نیز افزایش داده است، اما مقدار افزایش به صورت معنی‌دار نبود (جدول 4). با توجه به جدول 4 افزایش در تیمار SAR به علت ایجاد انقباض بیشتر در خاک و درز و ترک‌های جدید در اثر انبساط و انقباض خاک به هنگام تر و خشک شدن، سبب افزایش منافذ درشت (Macro-p) شده است. این تغییرات در تیمار شوری پایین (dS m^{-1} 0/2) و به ویژه در خاک لومرسی به علت داشتن سطوح کلونیدی بیشتر مشهودتر بوده است. اما با افزایش SAR فراوانی منافذ میانه (Meso-p) به علت اثر تخریبی سدیم کاهش یافت و منافذ ریز خاک (Micro-p) افزایش یافت؛ در حالی که در تخلخل کل (Total-p) خاک تغییرات چندانی مشاهده نشد (جدول 4). همچنین اثر تخریبی سدیم را می‌توان با کاهش هدایت هیدرولیکی خاک (K_s) در اثر افزایش تیمار SAR و کاهش اثر

ج) اثر کیفیت آب بر توزیع اندازه منافذ خاک، ویژگی هیدرولیکی خاک و مقدار آب قابل استفاده برای گیاه مقایسه میانگین برهم‌کنش 3 تیمار آزمایشی بر فراوانی منافذ درشت (Macro-p)، منافذ میانه (Meso-p)، منافذ ریز (Micro-p) و هدایت هیدرولیکی خاک K_s (جدول 4) را نشان می‌دهد. افزایش شوری (EC) در خاک لومرسی (میانگین تیمار SAR) سبب افزایش 44 درصدی در منافذ درشت (Macro-p) و 31 درصدی در منافذ ریز (Micro-p) شده است، درحالی‌که فراوانی منافذ میانه را (Meso-p) 23 درصد کاهش داده است. اما در خاک لومشنی روند تغییرات مانند خاک لومرسی نبود، به طوری که شوری (EC) سبب کاهش 48 درصد در منافذ درشت (Macro-p) و افزایش 44 درصد در منافذ ریز (Micro-p) شده است، درحالی‌که فراوانی منافذ میانه را (Meso-p) تنها 2/5 درصد کاهش داده است (میانگین تیمار SAR). سطح کلونیدی کمتر و همچنین ساختمان ناپایدار در خاک لومشنی می‌تواند سبب این تفاوت در نتایج بدست آمده باشد. شوری (EC) از طریق هم‌آوری ذرات خاک و تبدیل منافذ میانه (Meso-p) به منافذ

سدیم بر این ویژگی با افزایش شوری (EC) به وضوح مشاهده کرد. کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی خاک برابر با 0/39 سانتی‌متر بر ساعت در تیمار دارای شوری $0/2 \text{ dS m}^{-1}$ و SAR معادل 12 در خاک لوم-رسی مشاهده شد (جدول 4).

جدول 4- مقایسه میانگین اثر تیمارهای بافت، شوری و سدیمی بودن بر روی منافذ خاک و هدایت هیدرولیکی خاک

K_s (cm h^{-1})	Total-p	Micro-p	Meso-p	Macro-p	SAR	EC (dSm^{-1})
	g g^{-1}					
لوم رسی						
1/172 ^{ef}	0/387 ^a	0/178 ^{bc}	0/171 ^a	0/038 ^{bcd}	1	0/2
0/649 ^f	0/399 ^a	0/185 ^{ab}	0/164 ^{ab}	0/050 ^{abc}	5	0/2
0/390 ^f	0/383 ^a	0/220 ^{ab}	0/111 ^c	0/053 ^{abc}	12	0/2
2/771 ^{bcd}	0/399 ^a	0/224 ^a	0/103 ^c	0/0712 ^a	1	10
2/303 ^{cd}	0/396 ^a	0/208 ^{ab}	0/127 ^c	0/062 ^{ab}	5	10
1/133 ^{ef}	0/396 ^a	0/212 ^{ab}	0/113 ^c	0/071 ^a	12	10
لوم شنی						
3/652 ^{ab}	0/290 ^{cd}	0/130 ^d	0/133 ^{bc}	0/027 ^{cde}	1	0/2
2/711 ^{bcd}	0/284 ^d	0/135 ^{cd}	0/113 ^c	0/036 ^{bcde}	5	0/2
1/942 ^{ed}	0/284 ^d	0/135 ^{cd}	0/118 ^c	0/031 ^{bcde}	12	0/2
4/476 ^a	0/335 ^b	0/194 ^{ab}	0/114 ^c	0/027 ^{cde}	1	10
3/027 ^{bc}	0/326 ^b	0/190 ^{ab}	0/122 ^c	0/014 ^{de}	5	10
2/344 ^{cd}	0/320 ^{bc}	0/193 ^{ab}	0/120 ^c	0/007 ^e	12	10

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

10 m^{-1} و SAR برابر با 1، به علت هم‌آوری ذرات و ایجاد منافذ جدید، مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP})، بالا مشاهده شد، که با تیمار شوری (EC) dS m^{-1} 0/2 و SAR برابر با 12 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول 5). جدول 5 نشان می‌دهد که مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه (AWC_{100} و AWC_{300}) در تیمارهای با شوری $0/2 \text{ dS m}^{-1}$ ، با افزایش سدیم، افزایش یافت؛ که به علت افزایش مقدار رطوبت نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP}) می‌باشد. در تیمارهای با شوری (10 dS m^{-1}) با افزایش سدیم کاهش نشان داد که این امر می‌تواند به علت اثر افزایش یون سدیم و اثر آن بر تخریب ساختمان خاک، پراکنش ذرات رس و کاهش اثر شوری (EC) باشد، که آب قابل استفاده برای گیاه (AWC_{100} و AWC_{300}) را کاهش داد. از سوی دیگر افزایش شوری (EC) در تیمارهای با SAR برابر با 5 و 1، سبب افزایش مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه (AWC_{100} و AWC_{300}) و در SAR معادل 12 سبب کاهش آن شده است. اما تغییرات در مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه (AWC_{100} و AWC_{300}) در اثر تیمارهای کیفیت آب معنی‌دار نبوده است. این امر بیانگر این موضوع می‌باشد که اگر چه

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای آزمایشی بر رطوبت اشباع (θ_s)، گنجایش زراعی (θ_{FC})، نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP})، مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه (AWC_{100} و AWC_{300})، رطوبت نقطه عطف (θ_{INF}) و شیب منحنی در نقطه عطف (S_{INF}) (جدول 5) نشان می‌دهد که با افزایش SAR مقدار رطوبت نگهداری شده نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP}) در خاک افزایش یافت. به توجه به اینکه افزایش سدیم سبب تخریب منافذ درشت و کاهش اندازه منافذ خاک می‌شود، قدرت نگهداشت رطوبت در مکش‌های بالا افزایش یافت. بیشترین مقدار رطوبت نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP}) در بیشترین SAR (12) و کمترین EC ($0/2 \text{ dS m}^{-1}$) مشاهده شد (جدول 5). به عبارتی در این شرایط سدیم بیشترین اثر تخریبی خود را داشته و EC به علت پایین بودن نتوانسته است اثر تخریبی سدیم را کاهش دهد. از طرفی به توجه به اینکه سدیم باعث ایجاد آماس در خاک در مکش‌های پایین می‌شود، سبب ایجاد منافذ با اندازه قطر بزرگتر شده و در نتیجه مقدار رطوبت خاک را کاهش می‌دهد؛ درحالی‌که با افزایش SAR مقدار رطوبت اشباع (θ_s) و گنجایش زراعی (θ_{FC}) کاهش یافت. در شوری (EC) برابر با dS

5). بر اساس جدول 5، خاک لومرسی با شوری $0/333$ بیشترین مقدار رطوبت در نقطه عطف را نسبت به سایر تیمارها داشت. افزایش شوری سبب افزایش θ_{INFL} گردید اما افزایش رطوبت θ_{INFL} را کاهش داد. بنابراین کمترین مقدار θ_{INFL} ($P < 0/0001$) در خاک لومرسی با شوری $0/2$ در SARهای برابر 1، 5 و 12 به ترتیب با مقادیر $0/305$ ، $0/284$ و $0/255$ در خاک لومشنی با شوری $0/2$ در SARهای برابر 1، 5 و 12 به ترتیب با مقادیر $0/210$ ، $0/207$ و $0/204$ بدست آمد که این کاهش در مقدار θ_{INFL} نشان دهنده کاهش کیفیت خاکها در اثر کاربرد آب‌های با کیفیت پایین می‌باشد (جدول 5). با توجه به جدول 5 بیشترین مقدار شاخص S_{INF} محاسبه شده، در تیمار کیفیت آب با شوری $0/2$ در SAR و معادل 1 با مقدار $0/083$ و کمترین مقدار آن $0/045$ در شوری 10 در SAR و معادل 12 در خاک لومرسی بدست آمد.

تیمارهای آزمایشی حدود بالایی و پایینی آب قابل استفاده را تغییر می‌دهد، اما اگر این میزان تغییرات به یک اندازه باشد بر روی مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه (AWC_{300} و AWC_{100}) اثر معنی‌داری نخواهد داشت. نتایج به دست آمده با نتایج عسگرزاده و همکاران (2010) و ختار و همکاران (1391) مطابقت دارد. همچنین مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه در AWC_{300} نسبت به AWC_{100} بیشتر مشاهده شد. همانطور که جدول 5 نشان می‌دهد، اثر بافت خاک بر ضرایب هیدرولیکی خاک معنی‌دار بوده و بیشترین مقدار رطوبت در خاک لومرسی به دلیل وجود مقدار بیشتر رس و فعالیت فیزیکی و شیمیایی بیشتر برسطوح آن، مشاهده شد. محاسبه نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی θ_{INFL} با استفاده از معادله دکستر و برد (2001) در دو خاک لومرسی و لومشنی نشان داد که تیمارهای با شوری 10 دارای بیشترین مقدار رطوبت در نقطه عطف θ_{INFL} می‌باشند؛ که می‌تواند به دلیل افزایش رطوبت خاک در شوری بالا باشد (جدول

جدول 5- مقایسه میانگین اثر تیمارهای بافت، شوری و سدیمی بودن بر رطوبت اشباع، گنجایش زراعی، نقطه پژمردگی دائم، مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه، رطوبت نقطه عطف و شیب منحنی در نقطه عطف

S_{INF}	θ_{INF}	AWC_{300}	AWC_{100}	θ_{pwp}	θ_{FC}	θ_s	SAR	EC (dSm^{-1})
$g\ g^{-1}$								
لومرسی								
0/083 ^a	0/305 ^{bc}	0/107 ^{abc}	0/090 ^{ab}	0/160 ^{bc}	0/070 ^c	0/387 ^a	1	0/2
0/067 ^{abc}	0/284 ^c	0/108 ^{abc}	0/091 ^{ab}	0/167 ^{ab}	0/0760 ^{bc}	0/399 ^a	5	0/2
0/052 ^{cd}	0/255 ^d	0/140 ^{ab}	0/125 ^a	0/205 ^a	0/0796 ^{abc}	0/383 ^a	12	0/2
0/054 ^{cd}	0/333 ^a	0/133 ^{abc}	0/112 ^{ab}	0/203 ^a	0/091 ^{ab}	0/399 ^a	1	10
0/051 ^{cd}	0/319 ^{ab}	0/121 ^{abc}	0/086 ^{ab}	0/173 ^{ab}	0/087 ^{abc}	0/396 ^a	5	10
0/045 ^d	0/295 ^c	0/116 ^{abc}	0/077 ^b	0/173 ^{ab}	0/096 ^a	0/396 ^a	12	10
لومشنی								
0/079 ^{ab}	0/210 ^e	0/089 ^c	0/076 ^b	0/116 ^d	0/041 ^d	0/290 ^{cd}	1	0/2
0/064 ^{bc}	0/204 ^e	0/098 ^{bc}	0/085 ^{ab}	0/122 ^{cd}	0/0373 ^d	0/284 ^d	5	0/2
0/057 ^{cd}	0/207 ^e	0/100 ^{bc}	0/086 ^{ab}	0/121 ^{cd}	0/0354 ^d	0/284 ^d	12	0/2
0/059 ^{cd}	0/249 ^d	0/155 ^a	0/096 ^{ab}	0/135 ^{bcd}	0/039 ^d	0/335 ^b	1	10
0/057 ^{cd}	0/245 ^d	0/146 ^{ab}	0/102 ^{ab}	0/146 ^{bcd}	0/044 ^d	0/326 ^b	5	10
0/054 ^{cd}	0/235 ^d	0/154 ^a	0/073 ^b	0/112 ^d	0/040 ^d	0/320 ^{bc}	12	10

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

نتیجه‌گیری

کیفیت خاک، ساختمان خاک و توزیع منافذ خاکها در کشاورزی می‌تواند توسط مدیریت تحت تأثیر قرار گیرد، اما قابلیت دستکاری این عوامل به طور عمده به ویژگی‌های خاک و کیفیت آب بکار رفته برای آبیاری (مانند EC و SAR) بستگی دارد. ارزیابی اثر کیفیت آب

نتایج نشان می‌دهد که مقدار شاخص S_{INF} در تیمارهای کیفیت آب با افزایش شوری (EC) و SAR کاهش یافت (جدول 5). با توجه به نظریه دکستر (2004b) و (2006) در رابطه با شاخص S_{INF} که نشان دهنده کیفیت خاک می‌باشد و طبقه‌بندی آن می‌توان نتیجه گرفت که تیمارهای کیفیت آب سبب کاهش کیفیت فیزیکی خاک شده‌اند.

شوری (EC) آب خاک اثر یون سدیم را کاهش داده و بر ساختمان خاک تأثیر مثبت داشت. بنابراین وضعیت ساختاری خاک‌های تحت آبیاری و مقدار رطوبت خاک می‌تواند نشان دهنده تعادل بین این فرآیندهای موجود در خاک باشد. همچنین افزایش SAR و کاهش شوری خاک به طور مستقیم با کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع مرتبط بود. به طوریکه کم‌ترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع در اثر افزایش SAR زمانی حاصل شد که شوری در محلول تیمار پایین بود. واکنش به تغییرات SAR و شوری محلول تیمارها در خاک‌های با نسبت‌های بالاتر رس به دلیل سطح ویژه بالاتر بیشتر نمود پیدا می‌کند.

بر روی خاک در پژوهش حاضر نشان داد که کیفیت‌های مختلف آب با سطوح مختلف شوری (EC) و SAR ظرفیت تغییر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک را دارند. تغییرات ساختاری خاک در شوری (EC) و SAR مشخص، قابل پیش بینی بود. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت خاک‌های تحت آبیاری با SAR کمتر و شوری (EC) بیشتر ممکن است آماس و پراکنده شدن ذرات خاک، تخریب ساختمان و کاهش پایداری خاک کمتری داشته باشند و هر دو عامل از لحاظ فیزیکی برای ایجاد ساختمان خاک با اهمیت می‌باشند. بیشتر تغییرات ایجاد شده در خاک توسط کاربرد آب با شوری (EC) کم احتمالاً منفی است. در پژوهش انجام شده افزایش مقدار

فهرست منابع:

1. بایرام، م. و بهمنی، ا. 1394. تأثیر نوع خاک و وضعیت تراکم بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، 4 (4): 65-78.
2. ختار، م، مصدقی، م. ر.، محبوبی، ع. ا. 1391. اثر کیفیت آب آبیاری بر مقدار آب قابل استفاده برای گیاه و توزیع اندازه منافذ دو خاک آهکی با بافت متفاوت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، 16(60): 159-171.
3. صفادوست، آ.، مصدقی، م. ر.، محبوبی، ع. ا.، یوسفی، گ. 1390. اثرات هواپدگی فیزیکی و بیولوژیکی شبیه‌سازی شده بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک. نشریه علمی-پژوهشی آب و خاک، دانشگاه فردوسی مشهد. 26 (2): 340-348.
4. Arshad, M. A., Lowery, B., and Grossman, B. (1996). Physical tests for monitoring soil quality. *Methods for assessing soil quality, (methodsforasses)*, Soil Science Society of America, 49: 123-141.
5. Aljuboory, A. H. R., Idris, A., Al-joubory, H. H. R., Uemura, Y., and Abubakar, B. I. 2015. Flocculation behavior and mechanism of bioflocculant produced by *Aspergillus flavus*. *Journal of environmental management*. 150: 466-471.
6. Aschonitis, V. G., Salemi, E., Colombani, N., and Mastrocicco, M. 2015. Comparison of Different "S-index" Expressions to Evaluate the State of Physical Soil Properties. *Geotechnical and Geological Engineering*. 33(4): 1055-1066.
7. Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M. R., Mahboubi, A. A., Nosrati, A., and Dexter, A. R. 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. *Plant and soil*. 335(1-2): 229-244.
8. Beven, K., and Germann, P. 1982. Macropores and water flow in soils". *Water Resources Research*. 18: 1311-1325.
9. Botula, Y.D., Cornelis, W.M., Baert, G., and Van Ranst, E. 2012. Evaluation of pedotransfer functions for predicting water retention of soils in Lower Congo (DR Congo). *Agricultural Water Management*. 111: 1-10.
10. Calonego, J. C., and Rosolem, C. A. 2011. Soil water retention and s index after crop rotation and chiseling. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35(6): 1927-1937.
11. Chaganti, V. N., Crohn, D. M., and Šimůnek, J. (2015). Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 158:255-265.

12. Dexter, A. R. 2004a. "Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*. 120(3): 201-214.
13. Dexter, A.R. 2004b. "Soil physical quality, Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory". *Geoderma*. 120: 227-239.
14. Dexter, AR. 2006. Applications of S-theory in tillage research. Proceedings of International Soil Tillage Research Organisation, 17th Triennial Conference 28 August-3 September, Kiel, Germany pp 429-442.
15. Gadouri, H., Harichane, K., and Ghrici, M. 2017. Effect of sodium sulphate on the shear strength of clayey soils stabilised with additives. *Arabian Journal of Geosciences*. 10(10): 218.
16. Hishe, S., Lyimo, J., and Bewket, W. 2017. Soil and water conservation effects on soil properties in the Middle Silluh Valley, northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*. 5(3): 231-240.
17. Jalali, M. (2002) "Composition of irrigation waters in west of Iran". In 17. World congress of soil science., Bangkok (Thailand), 14-21 Aug 2002.
18. Kessler, S., Barbour, S. L., Van Rees, K. C., and Dobchuk, B. S. 2010. Salinization of soil over saline-sodic overburden from the oil sands in Alberta. *Canadian journal of soil science*. 90(4): 637-647.
19. Klute A (ed). 1986. Methods of soil analysis: part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd edn. Soil Science of America, 1173pages.
20. Marchuk, A. 2013. Effect of cations on structural stability of salt-affected soils (Doctoral dissertation). Discipline of Soil Science School of Agriculture, Food and Wine, The University of Adelaide, 154pages.
21. Laurenson, S., and Houlbrooke, D. 2011. Winery wastewater irrigation: effects of sodium and potassium on soil structure. Report prepared for Marlborough District Council. AgResearch Ltd, Invermay, New Zealand.
22. Porebska D, Sawiński C, Lamorski K and RT Walczak, 2005. Relationship between van Genuchten's parameters of the retention curve equation and physical properties of soil solid phase. *International Agrophysics* 20: 153-159.
23. Rengasamy, P., and Marchuk, A. 2011. Cation ratio of soil structural stability (CROSS). *Soil Research*. 49(3):280-285.
24. Rowell, D. L. 1994. Soil science: methods and applications. Department of Soil Science, University of Reading, 350 pp.
25. Suarez, D.L., Wood, J.D. and Lesch, S.M. 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural Water Management*. 86: 150-164.
26. van Genuchten, M.Th. (1980) "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils". *Soil Science Society America Journal*, 44, 892-898.
27. Weil, R. R., Brady, N. C., and Weil, R. R. 2016. The nature and properties of soils. Pearson.
28. Walky, A. and Block, I. A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.

Effects of Saline and Sodic Water on Hydraulic Properties of Clay Loam and Sandy Loam Soils

A. Taghizadehghasab¹, A. Safadoust and M. R. Mosaddeghi

MSc student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Buali Sina-Hamedan University, Hamedan; E-mail: afrooztaghizadeh@gmail.com

Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Buali Sina-Hamedan University, Hamedan; E-mail: safadoust@gmail.com

Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan; E-mail: mosaddeghi@yahoo.com

Received: November, 2017 and Accepted: March, 2018

Abstract

The effect of water quality on soil water retention, structure, and hydraulic conductivity in two soil textures was studied. Undisturbed soil samples were treated in 5 wetting and drying periods with 6 different types of water quality consisting of 2 levels of EC (0.2 and 10 dS m⁻¹) and three levels of SAR (1, 5 and 12). Undisturbed soil samples were equilibrated on sand box apparatus to soil matric suctions of 0, 10, 20, 40 and 60 cm and on pressure plate apparatus to soil matric suctions of 100, 300, 1000, 2000, 4000 and 15000 cm. The van Genuchten-Mualem model was fitted to simulate the measured soil water characteristic curve. Soil physical quality index (S) and the inflection point of water retention curve (θ_{INFL}) were evaluated using fitted parameters. Also, the macro-porosity, meso-porosity, micro-porosity, available water content (AWC₁₀₀ and AWC₃₀₀), and saturated hydraulic conductivity were measured. The study was conducted in a completely randomized design with three replications. Results showed that increasing EC caused soil particles flocculation, by developing some new pores and, consequently, increasing water retention capacity. Although increase in SAR dispersed soil particles, alteration of some macro-pores and meso-pores to micro-pores enhanced water retention, especially at high matric suctions. But, the available water content did not change significantly. Also, increase in water EC enhanced water retention at all matric suctions and the highest moisture content at inflection point was seen at EC of 10 dSm⁻¹. The increase in SAR and decrease in EC were directly related to decrease in saturated hydraulic conductivity. Soil physical quality index (S) decreased by sodium increment, which indicated the reduced soil physical quality.

Keywords: Soil quality, Water quality, Soil porosity, van Genuchten-Mualem model

¹ Corresponding author: College of Agriculture, Buali Sina-Hamedan University