

تأثیر شوری و پتاسیم آب آبیاری بر ویژگی‌های ساختمانی خاک

معصومه ذاکر^۱، حجت امامی^{۲*}، امیر فتوت^۳، علی‌رضا آستارایی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳)

چکیده

ویژگی‌های ساختمانی و هیدرولیکی خاک به نوع و کیفیت آب آبیاری وابسته است. به منظور بررسی اثر پتاسیم از طریق نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک (CROSS) بر ویژگی‌های فیزیکی یک خاک لوم شنی، پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در ستون‌های خاک دست‌نخورده در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل شوری آب آبیاری (در دو سطح ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و مقادیر مختلف یون پتاسیم آب آبیاری (CROSS) در چهار سطح ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵) بودند. بعد از ۱۶ هفته آبیاری، پارامترهای فیزیکی خاک ارزیابی گردیدند. نتایج نشان داد که با افزایش مقادیر شوری، مقدار رس قابل پراکنش در آب به طور معنی‌داری کاهش یافت، اما تغییرات مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی اشباع و مقاومت فروری معنی‌دار نبود ($P < 0.05$). با وجود عدم استفاده از یون سدیم، یون پتاسیم تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر پارامترهای فیزیکی خاک مثل رس قابل پراکنش در آب، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، و هدایت هیدرولیکی اشباع داشت و باعث تخریب این ویژگی‌ها گردید. اثر مشترک شوری و CROSS مشخص نمود که اثر تخریبی پتاسیم و CROSS بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد مطالعه در شوری 8 dSm^{-1} ، کمتر از شوری 4 dSm^{-1} بود. پیشنهاد می‌شود اثرات یون پتاسیم در ارزیابی ساختمان خاک بیشتر مورد ارزیابی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: رس قابل پراکنش، هدایت هیدرولیکی، کیفیت آب آبیاری، ویژگی‌های فیزیکی خاک

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (مکاتبه کننده)

۳- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

* پست الکترونیک: hemami@um.ac

مقدمه

نسبت سدیم به ریشه دوم مجموع کلسیم و منیزیم (SAR) آب آبیاری و یا عصاره خاک، از معروفترین شاخص‌هایی است که به‌عنوان معیاری از سدیمی بودن و پایداری ساختمان خاک در نظر گرفته می‌شود (Rengasamy & Marchuk, 2011). اما در معرفی این نسبت، یون پتاسیم لحاظ نشده و یون‌های کلسیم و منیزیم از لحاظ تأثیر در بهبود و حفظ ساختمان خاک، مشابه فرض شده‌اند. در حالی که تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند که زمانی که میزان سدیم تبادلی خاک حداقل است، حضور یون‌های پتاسیم و منیزیم در جایگاه‌های تبادلی خاک می‌تواند بر پراکنش رس مؤثر باشد (Marchuk & Rengasamy, 2012). مشخص شده است منیزیم تبادلی (Keren, 1991) تحت شرایطی خاص می‌تواند منجر به تخریب ساختمان بعضی از خاک‌ها شود. همچنین در خاک‌های حاوی سدیم-منیزیم، در مقایسه با خاک‌های حاوی سدیم-کلسیم، مقادیر رس قابل پراکنش در آب بیشتر و هدایت هیدرولیکی کمتر گزارش شده است (Emerson & Smith, 1970). در رابطه با اثر منیزیم بر پراکنش رس، نفوذپذیری و فرسایش خاک، مشخص شده است که منیزیم اثر چشمگیری بر پراکنش ذرات رس دارد و سبب کاهش نفوذپذیری، افزایش سله سطحی و فرسایش می‌شود (Dontsova & Norton, 2002). ساگرو (Suguru, 2014) نیز گزارش کردند که میزان درصد سدیم تبادلی¹ آستانه برای پراکنش ذرات رس، در حضور منیزیم کاهش می‌یابد. در رابطه با اثر پتاسیم نیز گزارش‌های متفاوتی وجود دارد و تأثیر آن بر ساختمان خاک برابر یا کمتر از سدیم گزارش شده است (Chen *et al.*, 1993). پژوهش‌های لوی و تورنتو (Levy & Torrento, 1995) در رابطه با اثر سدیم و پتاسیم بر تخریب ساختمان خاک نشان داد که با افزایش سدیم قابل تبادل از ۰/۵ به ۵/۵ درصد، پراکنش رس از ۲۲/۲ درصد به ۳۰/۴ درصد رسید، درحالی‌که افزایش پتاسیم قابل تبادل به میزان ۱۰ تا ۱۵ درصد، نتوانست منجر به نامناسب‌تر شدن ویژگی‌های مؤثر بر ساختمان خاک و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک شود. برعکس، احمد و همکاران (Ahmad *et al.*, 2006) معتقدند که استفاده بی‌رویه از کودهای پتاسیمی منجر به

تخریب ساختمان خاک‌ها می‌شود. اسمایلز (Smiles, 2006) این نظریه را تأیید کرده و عنوان کرد به دلیل اینکه پتاسیم کاتیونی یک ظرفیتی است می‌تواند باعث انبساط و پراکنش رس‌ها شده و اثراتی شبیه سدیم در خاک ایجاد کند، اما به دلیل مقدار کم آن در خاک، اثر آن نادیده گرفته می‌شود، درحالی‌که در خاک‌های متأثر از نمک اهمیت دارد. وی دریافت اثرات تخریبی یون پتاسیم مشابه با یون سدیم است، زیرا پتاسیم کاتیونی یک ظرفیتی است و می‌تواند باعث انبساط و پراکنش رس‌ها شود. به نظر می‌رسد که افزایش پتاسیم و سدیم تبادلی اثراتی منفی بر هدایت هیدرولیکی و سرعت نفوذ نهاده و منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی در صورت کاربرد درازمدت فاضلاب‌ها با مقادیر متفاوت از کم تا زیاد پتاسیم می‌شود (Arienzo *et al.*, 2009). رنگاسمی و مارچوک (Rengasamy & Marchuk, 2011) اثبات کرده‌اند که استفاده از آب‌های با پتاسیم بالا، مشکلاتی را برای نفوذ آب به خاک ایجاد می‌کند. طبق مطالعات آن‌ها غلظت پتاسیم و منیزیم در بعضی خاک‌ها به‌طور طبیعی در حال افزایش است و کارخانه‌ها تمایل دارند تا از نمک‌های پتاسیم و منیزیم به‌جای سدیم در طول فرآیندهای بازیافت استفاده کنند تا از افزایش غلظت سدیم در گنداب‌ها جلوگیری کنند. اخیراً شاخص نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک ($CROSS (meqL^{-1})$)^۱، به‌عنوان جایگزینی مناسب برای نسبت جذب سدیم (SAR)، معرفی شده است:

$$CROSS = \frac{Na + 0.56 K}{\sqrt{\frac{Ca + 0.6 Mg}{2}}} \quad (1)$$

این شاخص مشابه شاخص SAR است با این تفاوت که اثرات متفاوت و ناهمسان سدیم و پتاسیم در پراکنش رس‌های خاک و همچنین اثرات متفاوت کلسیم و منیزیم در هم‌آوری ذرات رس خاک در آن لحاظ شده است (Marchuk & Rengasamy, 2012). پتاسیم در خاک‌های ما بیشترین درصد را از بین عناصر پرمصرف به خود اختصاص داده است و تاکنون واکنش ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولیکی و ساختمانی خاک به این شاخص ارزیابی نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر

اندازه‌گیری شد. به دلیل اثرگذار بودن میزان رطوبت خاک بر مقادیر مقاومت فروری، در زمان انجام آزمایش، از خاک موردنظر نمونه‌برداری صورت گرفت و میزان رطوبت خاک به روش درصد وزنی، تعیین گردید. سپس این رطوبت با استفاده از داده‌های منحنی رطوبتی، در هر نقطه به مکش معادل آن تبدیل شد و نهایتاً با استفاده از معادله ۳ (Da Silva et al., 1994)، مقاومت فروری خاک بر حسب مگاپاسکال در مکش دو مگاپاسکال، گزارش شدند.

$$SR = c\theta^d D_b^e \quad (3)$$

در این معادله، SR ، مقاومت فروری خاک بر حسب مگاپاسکال، D_b جرم مخصوص ظاهری خاک (Mgm^{-3})، θ میزان رطوبت خاک (cm^3cm^{-3})، c ، d و e نیز ضرایب ثابت معادله هستند.

اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)

سپس خاک از داخل ستون‌ها تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری آن خارج شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها و هوا خشک شدن آن‌ها، خاک‌ها از الک ۶ میلی‌متری عبور داده شد و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های $4/76 - 0/074$ میلی‌متر به روش الک تر و طبق معادله ۴ اندازه‌گیری شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (4)$$

در این معادله، x_i متوسط قطر یا اندازه خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه‌ای (برحسب میلی‌متر)، w_i ، نسبت وزن خاکدانه‌ها در آن کلاس به وزن کل خاکدانه‌ها و n تعداد کلاس‌های اندازه‌ای خاکدانه‌ها است.

ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های خاک نیز بعد از عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). توزیع اندازه ذرات کمتر از ۲ میلی‌متر به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد (Gee and Bauder, ۱۹۸۶). برای اندازه‌گیری رس قابل پراکنش در آب از آب مقطر جهت پراکنش ذرات خاک استفاده شد (Rengasamy et al., 1984) و رس قابل پراکنش در آب توسط هیدرومتر در زمان‌های ۱/۵ و ۲۴ ساعت قرائت شد و نسبت به رس کل خاک بیان شد. EC (قابلیت هدایت الکتریکی) با استفاده از دستگاه EC متر (مدل METROHM632) در گل اشباع (Carter & Gregorich, 2008)، pH در عصاره گل اشباع به‌وسیله دستگاه pH متر (مدل JENWAY 4310)، مقادیر کلسیم، منیزیم به روش تیتراسیون عصاره خاک با عصاره‌گیر اتیلن

شوری آب آبیاری و مقادیر مختلف پتاسیم در ترکیب با کاتیون‌های کلسیم و منیزیم از طریق شاخص CROSS، بر ویژگی‌های ساختمانی خاک بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر شوری و CROSS آب آبیاری، آزمایشی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح شوری (4 و 8) و چهار سطح CROSS (10 ، 15 ، 20 و 25) بودند. نمونه‌های خاک دست‌نخورده به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر با استفاده از لوله‌هایی از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۱۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (ستون‌ها) تهیه شد. انتهای ستون‌ها با درپوش‌هایی که منافذی برای خروج آب زهکش در آن تعبیه شده بود، پوشیده شدند. برای تهیه محلول‌ها از نمک‌های کلرید کلسیم، منیزیم و پتاسیم استفاده شد. به‌گونه‌ای که در سطح شوری dSm^{-1} ۴، مجموع غلظت کاتیون‌ها معادل ۴۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر ($meqL^{-1}$) و نسبت کاتیون‌ها طبق رابطه ۱ برابر با سطوح تعیین شده برای CROSS (10 ، 15 ، 20 و 25) بود. این روش برای شوری dSm^{-1} ۸ نیز تکرار شد. در هر بار آبیاری حجمی معادل ۰/۵ لیتر به ستون خاک اضافه شد و پس از خشک شدن خاک اضافه کردن محلول نمک دوباره انجام شد. حجم محلول به‌گونه‌ای در نظر گرفته شد تا آبشویی از ستون‌ها انجام پذیرد تا محلول نمک به همی خاک موجود در ستون اثر کند.

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)

پس از گذشت ۱۶ هفته از افزودن محلول‌های نمک به ستون‌های خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌ها، به روش بار ثابت و با استفاده از رابطه ۲ اندازه‌گیری شد.

$$K_s = \frac{VL}{hAt} \quad (2)$$

در معادله فوق، L طول ستون خاک، h طول ستون خاک و ارتفاع آب، A سطح مقطع ستون، t زمان و V حجم آب جمع‌آوری شده از ستون پس از گذشت زمان موردنظر است.

اندازه‌گیری مقاومت فروری خاک (PR)

مقاومت فروری خاک با استفاده از فروسنج (مدل ST207)، در دو عمق مشخص شده روی فروسنج و با پنج تکرار برای هر عمق و در دو حالت خشک و مرطوب

غلظت پتاسیم توسط دستگاه فلیم فوتومتر اندازه‌گیری شد (Knudsen *et al.*, 1982). برخی ویژگیهای آب آبیاری در جدول ۲ نشان داده شده است. در پایان آزمایش، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری پنج درصد در نرم‌افزار *MSTATC* انجام شد.

دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) ۰/۰۱ نرمال و برای اندازه‌گیری پتاسیم، ۱۰۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم یک مولار در pH=7 در سه مرحله به پنج گرم خاک هواخشک اضافه و بعد از هر مرحله به مدت ۵ دقیقه شیک و سانتریفیوژ شد، عصاره رویی هر سه مرحله جمع‌آوری و

جدول ۱- ویژگی‌های اولیه خاک مورد مطالعه

Table 1. General properties of the studied soil

parameters	Value	parameters	Value
Sand (%)	69.00	(Na, meq l ⁻¹)	9.99
Silt (%)	20.00	(K, meq l ⁻¹)	0.1
Clay (%)	11.00	(Ca, meq l ⁻¹)	7.07
Texture	Sandy Loam	(Mg, meq l ⁻¹)	6.38
Bulk density (gcm ⁻³)	1.42	(EC, dS m ⁻¹)	1.54
Saturated hydraulic conductivity (cmday ⁻¹)	9.39	SAR	3.85
CROSS	4.3	PAR	0.04
pH	8.02	CCEe (%)	16.4
OM (%)	0.32	-	-

جدول ۲- مقادیر کاتیون‌های محلول در آب آبیاری مورد استفاده

Table 2. Amounts of soluble cations in irrigation water

Cation Ratio of Soil	EC	K	Ca	Mg
Structural Stability	(dS m ⁻¹)		(meq l ⁻¹)	
10	4	33.16	3.42	5.7
15	4	36.32	3.06	1.84
20	4	37	1	2
25	4	38	0.62	1.38
10	8	54.1	8.5	17.4
15	8	64	5.5	10.5
20	8	69.25	3.35	7.4
25	8	72.8	2.5	4.7

در آب آبیاری گزارش کرد. تاجیک و همکاران (Tajik *et al.*, 2003) با بررسی اثر شوری و SAR آب آبیاری بر روی پایداری خاکدانه‌ها در چند خاک با سطوح مختلف مواد آلی، بیان کردند که در یک سطح از SAR در شوری بیشتر، میزان رس پراکنده شده کمتر است. لائورنسون و همکاران (Laurenson *et al.*, 2012) اظهار کرده‌اند اثرات مخرب حاصل از زیادی مقدار سدیم و پتاسیم بر ساختمان خاک با افزایش میزان شوری، کاهش می‌یابد. لائورنسون و هولبروک (Laurenson & Houlbrook, 2011) نیز با مطالعه ساختمان خاک‌های تحت آبیاری با فاضلاب‌های حاوی سدیم و پتاسیم، به رابطه نزدیک بین شوری فاضلاب و پراکنش رس و کاهش تغییرات نامطلوب ساختمان خاک در شوری بیشتر اشاره کرده‌اند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی نشان داد که شوری، CROSS و برهمکنش آن‌ها بر مقدار رس قابل پراکنش در آب به ترتیب در سطح ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شوری (غلظت الکترولیت) آب آبیاری از ۴ به ۸ dSm⁻¹ پراکنش رس‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). بر این اساس غلظت کم کاتیون‌های دو ظرفیتی در شوری ۴ dSm⁻¹، نتوانسته مانع از اثرات سوء کاتیون پتاسیم و CROSS بر پراکنش رس در خاک شود. رابطه بین غلظت الکترولیت بر میزان پراکنش رس، در تحقیقات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است، به‌طوری‌که آستارایی (Astaraei, 1990) بیشترین پراکنش رس‌ها را در کم‌ترین غلظت الکترولیت

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

Table 3. The results of ANOVA of studied treatments on soil physical properties

Source of variation	dF	Mean square			
		DC (%)	MWD (mm)	Ks (cm day ⁻¹)	PR (MPa)
Salinity(A)	1	30.10***	0.001 ^{ns}	<0.001 ^{ns}	0.115 ^{ns}
CROSS (B)	3	29.44****	0.010****	<0.001**	0.028 ^{ns}
AB	3	26.24****	0.001**	<0.001 ^{ns}	0.143 ^{ns}
Error	16	1.45	0.0004	<0.001	0.055

****, ***, **, * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، یک و پنج درصد، ^{ns}: غیرمعنی‌دار

****, ***, **, * are significant at P < 0.0001, 0.001, 0.01, and 0.05, respectively, ns is non-significant.

DC: Dispersible clay, MWD: Mean weight diameter of aggregates, KS: Saturated hydraulic conductivity, PR: Penetration resistance at suction of 2 MPa.

سدیم) و شاخص نسبت جذب کاتیون‌های یک ظرفیتی^۲ (معادله ۵) در پیش‌بینی تغییرات پراکنش رس در خاک‌های متعدد برتر است (Rengasamy & Marchuk, Jayawardane *et al*, 2011; Laurenson *et al*, 2011; 2012) مطابقت دارد.

$$MCAR = \frac{Na + K}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (5)$$

اثر متقابل شوری و CROSS آب آبیاری بر رس قابل پراکنش در آب نشان داد (شکل ۱)، در شوری 8 dSm^{-1} بین سطوح مختلف CROSS تفاوت آماری معنی‌داری ($P < 0/05$) مشاهده نشد، اما در شوری 4 dSm^{-1} با افزایش میزان CROSS آب آبیاری، میزان پراکنش رس افزایش داشت؛ به گونه‌ای که بالاترین مقدار پراکنش رس مربوط به شوری 4 dSm^{-1} و CROSS ۲۵ بود (کمترین سطح شوری و بیشترین سطح CROSS آب آبیاری) و بعد از آن با تفاوت آماری معنی‌دار ($P < 0/05$)، شوری 4 dSm^{-1} و CROSS ۲۰ دارای بیشترین رس قابل پراکنش در آب بود. کمترین مقدار رس قابل پراکنش نیز مربوط به شوری 4 dSm^{-1} و CROSS ۱۵ بود که تفاوت آماری معنی‌داری با مقدار رس قابل پراکنش در شوری 4 dSm^{-1} و CROSS ۱۰ نداشت ($P < 0/05$). این نتایج نشان می‌دهد که غلظت زیاد املاح در شوری 8 dSm^{-1} مانع از ایجاد اثرات تخریبی حاصل از یون پتاسیم شده است و پراکنش رس تحت تأثیر کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم تغییر چندانی نداشته است. در حالی که در شوری 4 dSm^{-1} ، با افزایش میزان CROSS، غلظت املاح دو ظرفیتی نتوانسته است اثرات تخریبی پتاسیم را جبران کند.

تأثیر میزان CROSS آب آبیاری بر پراکنش رس‌ها نشان داد که، میزان پراکنش رس در خاک مورد مطالعه، با افزایش مقادیر CROSS آب آبیاری، روند افزایشی نشان داد، به طوری که مقادیر کم CROSS آب آبیاری (۱۰ و ۱۵)، نتوانستند تفاوت آماری معنی‌داری در میزان پراکنش رس در خاک ایجاد کنند (جدول ۴). بیشترین مقدار پراکنش رس مربوط به بیشترین مقدار CROSS آب آبیاری یعنی ۲۵ بود و کمترین مقدار آن مربوط به ۱۵ بود و تفاوت آماری معنی‌داری ($P < 0/05$) بین مقادیر رس پراکنده شده در CROSS های ۱۰ و ۱۵ وجود نداشت. همچنین ضریب همبستگی بین میزان CROSS آب آبیاری و میزان پراکنش رس، مثبت و معادل ۰/۹ بود.

در رابطه با شاخص CROSS تحقیقات اندکی وجود دارد. رابطه‌ی بین غلظت الکترولیت آستانه^۱ و پتانسیل پراکنش رس در خاک‌های تخریب‌شده به‌وسیله محلول‌هایی با CROSS متفاوت، مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شده است که بین شاخص CROSS و میزان پراکنش رس همبستگی بالایی وجود دارد و با افزایش میزان CROSS، میزان پراکنش رس نیز افزایش می‌یابد، اما با وجود روابط مشابه بین میزان پراکنش رس و CROSS در خاک‌های مختلف، شیب نمودار در خاک‌های مختلف به‌طور قابل-توجهی متفاوت است (Marchuk & Rengasamy, 2012). همچنین روند افزایشی در میزان پراکنش رس با افزایش میزان SAR در بررسی‌های متعددی اثبات شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که شاخص CROSS، توانسته است تغییرات پراکنش رس را به خوبی نشان دهد و با نتایج سایر محققان در رابطه با اینکه شاخص CROSS نسبت به شاخص SAR (نسبت جذب

2- Monovalent cation adsorption ratio (MCAR)

1- Threshold electrolyte concentration (TEC)

جدول ۴- اثر شوری و CROSS آب آبیاری بر درصد رس قابل پراکنش (DC)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) و مقاومت فروروی خاک (PR)

Table 4. Effect of salinity and CROSS in irrigation water on water dispersible clay (DC), mean weight diameter of aggregates (MWD), saturated hydraulic conductivity (K_s) and penetration resistance (PR)

	DC	MWD	K_s	PR
EC=4	5.80 ^a	0.39 ^a	3.70 ^a	0.21 ^{ab}
EC=8	3.52 ^b	0.40 ^a	3.85 ^a	0.35 ^b
CROSS=10	3.18 ^c	0.43 ^a	5.81 ^a	0.27 ^a
CROSS=15	2.50 ^c	0.35 ^c	3.71 ^b	0.28 ^a
CROSS=20	5.68 ^b	0.43 ^a	2.64 ^b	0.20 ^a
CROSS=25	7.27 ^a	0.37 ^b	2.93 ^b	0.37 ^a

غلظت املاح محلول در شوری 8 dSm^{-1} ، بیشتر از مقدار آن در شوری 4 dSm^{-1} است، به نظر می‌رسد که نقش کاتیون‌های دو ظرفیتی در پایداری خاکدانه‌ها، در شوری بیشتر محسوس‌تر بوده و منجر به افزایش جزئی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها گردیده است. در این راستا، شینبرگ و لتی (Shainberg & Letey, 1984) عنوان کردند که شوری آب آبیاری می‌تواند باعث بهبود ساختمان خاک شود. لوی و همکاران (Levy et al, 2003) نیز بیان کردند با کاهش شوری آب آبیاری، حساسیت خاکدانه‌ها به فروپاشی افزایش می‌یابد. احمد و مامد (Amarkh & Mamdov, 2014) نیز طی مطالعه‌ای، اثر بافت خاک و کیفیت آب آبیاری را روی نگهداشت آب و پایداری ساختمان خاک در دو خاک دارای بافت لوم و رسی مورد ارزیابی قرار داد. وی با در نظر گرفتن سه سطح شوری آب آبیاری (۲، ۱۰۰، ۵۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) و $3 < \text{SAR}$ و با استفاده از روش ویژگی‌های رطوبت با انرژی زیاد (HEMC)^۱ مشاهده نمود که با افزایش شوری آب آبیاری، میزان شاخص پایداری خاکدانه در هر دو نوع بافت خاک افزایش یافت.

تأثیر میزان CROSS آب آبیاری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نشان داد (جدول ۴) بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مربوط به CROSS ۱۰ و ۲۰ بود که فاقد تفاوت آماری معنی‌داری بودند و کمترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مربوط به CROSS ۱۵ بود. به طور کلی روند منظمی در مورد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و مقدار CROSS دیده نشد، بنابراین به نظر می‌رسد علاوه بر ترکیب کاتیونی و به‌ویژه یون پتاسیم عوامل دیگری مثل ماده آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و احتمالاً کربنات‌های موجود در خاک مانع از کاهش منظم میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در اثر افزایش CROSS و یون پتاسیم

با توجه به معنی‌دار نشدن میزان پراکنش رس در سطوح مختلف CROSS در شوری 8 dSm^{-1} بر اساس نظر مارچوک و رنگاسمی (Marchuk & Rengasamy, 2012) می‌توان گفت اثرات کاتیون‌ها بر ویژگی‌های ساختمانی خاک از جمله پراکنش رس‌ها به شدت به غلظت الکترولیت وابسته بوده و برای هر مقدار از CROSS، غلظتی از الکترولیت لازم است تا از پراکنش کامل رس‌ها جلوگیری شود. آن‌ها بر روی خاک‌های تخریب شده به‌وسیله محلول‌هایی با CROSS متفاوت مطالعه کردند و ضمن اشاره به تحقیقات متعدد در رابطه با وابسته بودن میزان پراکنش رس به عوامل متعددی از جمله کانی-شناسی رس و مواد آلی، همبستگی بالایی بین شاخص CROSS و میزان پراکنش رس (اندازه‌گیری شده به روش کدورت‌سنجی) گزارش کردند. در بررسی‌های آن‌ها با افزایش شاخص CROSS، آستانه غلظت الکترولیت (TEC) افزایش نشان داد و به این نکته مهم هم اشاره کردند که رابطه میان CROSS و TEC کلی نبوده و برای هر خاک منحصر به آن خاک است.

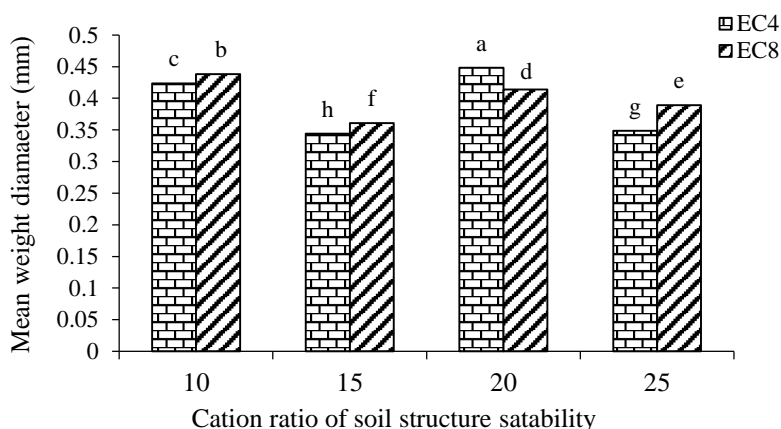
تأثیر شوری و CROSS آب آبیاری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نداشت، اما CROSS و برهمکنش آن با شوری به ترتیب در سطوح ۰/۰۱ و ۵ درصد بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار شدند (جدول ۳). با افزایش شوری (غلظت الکترولیت) آب آبیاری از ۴ به 8 dSm^{-1} میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به طور جزئی افزایش یافت اما معنی‌دار نبود (جدول ۴ و ۵). در اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در این آزمایش پایداری خاکدانه‌هایی با قطر $4/76$ تا $0/74$ میلی‌متر ارزیابی شد. با توجه به اینکه

1- High energy moisture characteristics

نشان ندادند، با این حال این روند برای هر دو شوری مشابه هم بود و همه تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند ($P < 0.05$). میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شوری 8 dSm^{-1} در تمامی سطوح CROSS به جز CROSS ۲۰ بیشتر از مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شوری 4 dSm^{-1} بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار CROSS ۲۰ و شوری 4 dSm^{-1} و در جایگاه بعدی کمترین CROSS ۱۰ و شوری 8 dSm^{-1} مشاهده گردید. مقدار آن نیز مربوط به تیمار CROSS ۱۵ و شوری 4 dSm^{-1} بود و CROSS ۲۵ و شوری 4 dSm^{-1} در جایگاه دوم قرار داشت.

شده‌اند. قابل ذکر است که ضریب همبستگی بین میزان CROSS آب آبیاری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، منفی (معادل -0.33) و غیرمعنی‌دار بود، که نشان می‌دهد همبستگی این پارامتر به شاخص CROSS نسبتاً کم است. احتمالاً در خاک مورد مطالعه که دارای بافت درشت و رس کم است، شاخص CROSS نتوانسته به تنهایی سبب کاهش منظم مقدار MWD شود. البته در سطوح زیاد CROSS آب آبیاری، با افزایش میزان CROSS آب آبیاری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش یافت. اثر متقابل شوری و CROSS آب آبیاری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نشان داد (شکل ۲). تغییرات میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با افزایش CROSS در هر دو سطح شوری مورد بررسی (۴ و ۸) روند ثابتی را



شکل ۲- اثر توأم شوری و نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک آب آبیاری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

Figure 2. Interaction effect of salinity and CROSS in irrigation water on mean weight diameter of aggregates

می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که این مقدار شوری نتوانسته است مانع از اثرات پتاسیم بر هدایت هیدرولیکی خاک شود. ضمن اینکه باید به این نکته توجه داشت که هدایت هیدرولیکی اشباع به شکل، پیوستگی و توزیع منافذ خاک وابسته است (Baybordi, 2005) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و پراکنش رس تنها پارامترهای موثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیستند. محققان مختلف گزارش نموده‌اند در شرایطی که درصد سدیم تبادلی و درصد پتاسیم تبادلی خاک زیاد است، حفظ شوری زیاد در خاک به هم‌آوری رس‌ها کمک می‌کند و اثرات سوء موثر بر هدایت هیدرولیکی را کاهش می‌دهد (Shainberg et Quirk, 2001; Levy & Torrento, 1995)

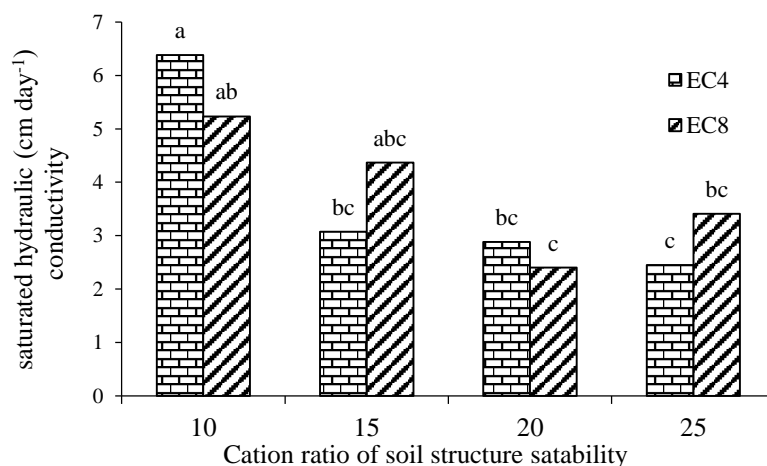
تأثیر شوری و نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک آب آبیاری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک
 نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی نشان داد که شوری و برهمکنش آن با نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک تأثیر معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نداشت، اما تأثیر نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک (CROSS) بر مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اگرچه بیشترین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در شوری 8 dSm^{-1} مشاهده شد، ولی همان‌طور که گفته شد تفاوت آماری معنی‌داری را با هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در شوری 4 dSm^{-1} نشان نداد ($P < 0.05$). نتیجه حاصل

آب آبیاری و میزان هدایت هیدرولیکی اشباع، منفی (معادل ۰/۸۷) و معنی‌دار در سطح یک درصد بود. البته در مطالعات مختلفی به برتر بودن شاخص CROSS نسبت به SAR و نسبت جذب کاتیون‌های یک ظرفیتی (MCAR)، در پیش‌بینی تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های متعدد اشاره شده است. (Rengasamy, Jayawardane *et al.*, 2011; & Marchuk, 2011; Laurenson *et al.*, 2012).

اثر متقابل میزان شوری و CROSS آب آبیاری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نشان داد (شکل ۳) که مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با افزایش مقدار CROSS، روند نسبتاً کاهشی را در هر دو سطح شوری مورد مطالعه نشان داد. ضمن اینکه در تمامی سطوح CROSS بین شوری ۴ و 8 dSm^{-1} ، تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$). این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات هدایت هیدرولیکی وابسته به ترکیب شوری و CROSS است و اثرات زیانبار حاصل از پتاسیم روی هدایت هیدرولیکی خاک مورد نظر در سطوح زیاد CROSS و شوری کم اتفاق می‌افتد.

(al, 1981). شوری زیاد با کم کردن ضخامت لایه دوگانه پخشیده منجر به کاهش اثرات نامطلوب حاصل از ESP زیاد خاک بر هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود (Shainberg *et al.*, 1981; Levy & Torrento, 1995).

تأثیر میزان CROSS آب آبیاری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (Ks) نشان داد (جدول ۴) با افزایش مقدار CROSS آب آبیاری از ۱۰ به ۲۵، هدایت هیدرولیکی اشباع دارای روند کاهشی بود، که بیشترین کاهش در مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از CROSS ۱۰ به ۱۵ و معادل ۳۶ درصد بود که باعث ایجاد تفاوت آماری معنی‌دار بین این دو سطح شد. از طرفی، با وجود مشاهده روند نسبتاً کاهشی در مقادیر هدایت هیدرولیکی، از CROSS ۱۵ تا ۲۵، تفاوت آماری معنی‌داری بین مقادیر مذکور مشاهده نشد. به نظر می‌رسد که مقادیر زیاد یون پتاسیم و CROSS باعث کاهش منافذ بزرگ و در نتیجه Ks شده‌اند ولی نتوانسته‌اند بر شکل، پیوستگی و توزیع منافذ خاک که هدایت هیدرولیکی وابسته به آن‌هاست، تأثیرگذار باشند، به همین علت سطوح بالای CROSS تفاوت معنی‌داری در مقادیر Ks با یکدیگر نداشتند. همچنین ضریب همبستگی بین میزان CROSS



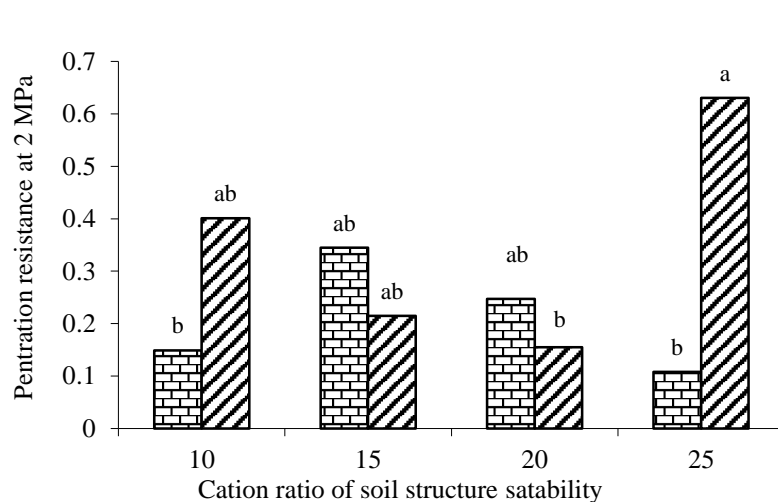
شکل ۳- اثر توأم شوری و نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک آب آبیاری بر هدایت هیدرولیکی اشباع
Figure 3. Interaction effect of salinity and CROSS in irrigation water on saturated hydraulic conductivity

(جدول ۳). بیشترین مقدار مقاومت فروری خاک در شوری 8 dSm^{-1} مشاهده شد (جدول ۴) و با اینکه تفاوت آن با شوری 4 dSm^{-1} معنی‌دار نبود ($P < 0.05$)، ولی افزایش آن زیاد و معادل ۶۵ درصد بود.

تأثیر شوری و CROSS آب آبیاری بر مقاومت فروری خاک
نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی نشان داد که شوری، CROSS و برهم‌کنش آن‌ها بر مقادیر مقاومت فروری خاک در مکش دو مگا پاسکال معنی‌دار نبود

اثر متقابل شوری و CROSS آب آبیاری بر مقاومت فروری خاک در مکش دو مگا پاسکال نشان داد (شکل ۴) که تفاوت آماری معنی‌دار بین دو سطح شوری ۴ و 8 dSm^{-1} تنها در CROSS ۲۵ مشاهده شد و در سایر سطوح CROSS بین شوری ۴ و 8 dSm^{-1} تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$). همچنین در شوری 4 dSm^{-1} تفاوت معنی‌داری بین هیچ یک از سطوح CROSS مشاهده نشد، ولی در شوری 8 dSm^{-1} فقط تفاوت CROSS ۲۵ با سایر سطوح در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش کاتیون پتاسیم در مقادیر شوری زیاد خاک احتمالاً باعث تشکیل کلوخه‌های سفت و سخت شده و در نتیجه‌ی آن مقادیر PR افزایش می‌یابد، البته این افزایش کمتر از دو مگا پاسکال بوده و مانعی برای رشد ریشه گیاهان نخواهد بود.

اثر CROSS آب آبیاری بر مقاومت فروری خاک در مکش دو مگا پاسکال نشان داد (جدول ۴) که میزان مقاومت فروری با افزایش CROSS تقریباً روند افزایشی داشت، اما بین تیمارهای مختلف تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد ($P < 0.05$). البته بیشترین مقدار مقاومت فروری خاک را بیشترین مقدار CROSS یعنی CROSS ۲۵ به خود اختصاص داد. با توجه به اینکه مقاومت فروری تحت تأثیر رطوبت، توزیع اندازه ذرات و خاکدانه‌ها قرار می‌گیرد و چون در نتیجه افزودن پتاسیم خاک، توزیع اندازه ذرات تغییر نکرده و رطوبت (مکش دو مگا پاسکال) ثابت بوده و تغییرات منظمی هم در مقادیر MWD (جدول ۴) ایجاد نشده است بنابراین افزایش PR هم معنی‌دار نبوده است. ضمن اینکه ضریب همبستگی بین میزان CROSS آب آبیاری و میزان مقاومت فروری مثبت و معادل 0.38 بود.



شکل ۴- اثر توأم شوری و نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک (آب آبیاری بر مقاومت فروری خاک در مکش دو مگا پاسکال)
Figure 4. Interaction effect of salinity and CROSS in irrigation water on penetration resistance at suction of 2 MPa

است و کاتیون‌های موجود در آب آبیاری اثرات معنی‌داری بر ساختمان خاک اعمال می‌کنند. همچنین شاخص CROSS توانست تغییرات حاصل از تخریب پتاسیم را تا حدی نشان دهد. بنابراین با لحاظ شدن آثار تخریبی سدیم، به نظر می‌رسد این شاخص به‌تواند نسبت به سایر شاخص‌های معرفی شده مانند SAR، RAR و MCAR یک ارزیابی جامع از پایداری ساختمانی خاک‌های متأثر از نمک به وسیله آب آبیاری ارائه دهد.

نتیجه‌گیری کلی

اثرات زیانبار غلظت سدیم بر پراکنش رس و هدایت هیدرولیکی در تحقیقات متعدد اثبات شده است، اما اثرات پتاسیم کمتر بررسی شده است. در این تحقیق اثر مشترک غلظت املاح و CROSS با استفاده از نمک‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم بدون در نظر گرفتن سدیم بر روی ویژگی‌های فیزیکی خاک بررسی شد. نتایج نشان داد که اثرات زیان‌بار پتاسیم بر تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک (لوم شنی) تا حدودی به غلظت کل املاح وابسته

References

- Ahmad S., Swindale L.D., and El-swaify S.A. 2006. Effects of adsorbed cations on physical properties of tropical red earths and tropical black earths. *Journal of Soil Science*, 20(2): 255–268.
- Amarkh I., and Mamdov A.I. 2014. Soil water retention and structure stability as affected by water quality. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3: 89-94.
- Arienzo M., Christen E.W., Quayle W., and Kumar A. 2009. A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters. *Journal of Hazardous Materials*, 164: 415-422.
- Astaraei A.R. 1990. Effect of Ca/Mg ratio in irrigation water at varying level of salinity and SAR on soil characteristics and plant growth. Ph.D Thesis, Agra University. India, 200p.
- Baybordi M. 2005. Engineering principles of drainage and soil remediation. 7th Ed, Tehran University Press. 641p. (In Persian)
- Carter M.R. and Gregorich E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis (2nd Ed.). CRC Press. Boca Raton, Florida, 1204p.
- Chen Y., Banin A., and Borochoy A. 1993. Effect of potassium on soil structure in relation to hydraulic conductivity. *Geoderma*, 30: 135-147.
- Da Silva A.P., Kay B.D., and Perfect E. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1775–1781.
- Dontsova K.M., and Norton L.D. 2002. Clay dispersion, infiltration, and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. *Soil Science*, 167 (3): 84-193.
- Emerson W.W. and Smith B.H. 1970. Magnesium, organic matter and soil structure. *Nature*, 228: 453–454.
- Jayawardane N.S., Christen E.W., Arienzo M., and Quayle W.C. 2011. Evaluation of the effects of cation combinations on soil hydraulic conductivity. *Soil Research*, 49: 56–64.
- Keren R. 1991. Specific effect of magnesium on soil erosion and water infiltration. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 783–787.
- Knudsen D., Peterson G.A., and Pratt P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. In: Page A.L., Miller R.H. and Keeney D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, 2nd ed., Chemical and Micro Biological Properties, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 225-246.
- Laurenson S. and Houlbrook D. 2011. The effect of sodium and potassium on soil structure. New Zealand agriculture, farming food and health, Winery wastewater Irrigation. ?p.
- Laurenson S., Bolan N.S., Smith E., and McCarthy M. 2012. Review: Use of recycled wastewater for irrigating grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18: 1–10.
- Levy G.J., and Torrento J.R. 1995. Clay dispersion and macroaggregate stability as affected by exchangeable potassium and sodium. *Soil Science*, 160: 352–358.
- Levy G.J., Mamedov A.I., and Oldstein D. 2003. Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semi- arid soils. *Soil Science*, 168: 552-562.
- Marchuk A., and Rengasamy P. 2012. Threshold electrolyte concentration and dispersive potential in relation to CROSS in dispersive soils. *Soil Research*, 50: 473–481.
- Quirk J.P. 2001. The significance of the threshold and turbidity concentrations in relation to sodicity and microstructure. *Australian Journal of Soil Research*, 39: 1185–1217.
- Rengasamy P. and Marchuk A. 2011. Cation ratio of soil structural stability (CROSS). *Soil Research*, 49: 280–285.
- Shainberg I., and Letey J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*, 52(2): 1-57.
- Shainberg I., Rhoades J.D., and Prather R.J. 1981. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. *Soil Science Society of America Journal*, 45: 273–277.
- Smiles D.E. 2006. Sodium and potassium in soils of the Murray–Darling Basin. *Australian Journal of Soil Research*, 44: 727–730.
- Suguru P.M. 2014. Effects of Magnesium on Cation Selectivity and Structural Stability in prominent Vertisols of Karnataka. *Fungal Genome and Biology*, 5(1): 1-5.
- Tajik F., Rahimi H., and Pazira E. 2003. Effects of electrical conductivity and sodium adsorption ratio of water on aggregate stability in soils with different organic matter content. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 5: 67-75. (In Persian)

Soil Physical Properties as Affected by Potassium and Salinity of Irrigation Water

Masumeh Zaker¹, Hojat Emami^{2*}, Alireza Astarai², Amir Fotovat³

(Received: November 2016 Accepted: May 2017)

Abstract

Structural and hydraulic properties of soil depend on type and quality of irrigation water. In order to investigate the effect of potassium as cation ratio of structural stability of soil on physical properties (sandy loam soil), a research was performed as completely randomizes design with factorial arrangement and 3 replications in undisturbed soil columns. Experimental factors consisted of saline water (2 salinity rate: 4, and 8 dSm⁻¹), and different contents of potassium ion in irrigation water (4 CROSS values: 0, 15, 20, and 25). Soil columns were irrigated for 16 weeks, after then soil physical properties were measured. The results showed that when salinity increased, water dispersible clay significantly decreased, while changes of mean weight diameter of aggregates, penetration resistance and saturated hydraulic conductivity were not significant (P<0.05). Despite sodium ion was not used in irrigation water, using of potassium ion in irrigation water had a significant effect on soil physical properties, such as water dispersible clay, mean weight diameter of aggregates (MWD), and saturated hydraulic conductivity (Ks), and they were degraded. Interaction effect of salinity and CROSS of irrigation water on soil properties in EC= 8 dSm⁻¹ was lesser than that of EC= 4 dSm⁻¹. Further studies are recommended to evaluate the effect of potassium on soil structure.

Key words: Dispersible clay, Hydraulic conductivity, Soil physical properties, Soil structural stability, Water irrigation quality.

1-Former MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

2-Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

3-Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

* Corresponding Author Email: hemami@um.ac.ir