

اثرات شوری و سدیمی بودن آب آبیاری بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک

حیدر غفاری^{۱*} - محمدرضا نیشابوری^۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۲۹

چکیده

دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت (LLWR)، به‌عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک، دامنه‌ای از رطوبت است که در آن رشد گیاه در ارتباط با پتانسیل ماتریک، تهویه و مقاومت مکانیکی خاک با کمترین محدودیت روبرو است. شیب در نقطه عطف منحنی رطوبتی (S_1) نیز به‌عنوان یک شاخص کیفیت مطرح است و بسیاری از رفتارهای فیزیکی مهم خاک را کنترل می‌کند. هدف از این پژوهش بررسی میزان تأثیرپذیری دو شاخص مذکور از EC و SAR آب آبیاری در دو خاک لوم رسی و لوم شنی در شرایط آزمایشگاه بود. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌هایی با سه سطح EC (۰/۵، ۴ و 10 m^{-1}) و چهار سطح SAR (۱، ۵، ۱۵ و ۲۵) بودند. ستون‌هایی از هر دو خاک تهیه و به مدت ۱۶ هفته، در معرض شش سیکل تر و خشک، با استفاده از محلول‌های مذکور آبیاری شدند. پس از این مدت شاخص‌های LLWR و S_1 و همچنین شاخص‌های پایداری خاکدانه شامل میانگین قطر خاکدانه (MWD)، پایداری مرطوب خاکدانه (WAS)، رس قابل پراکنش (DC) و هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) اندازه‌گیری گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر بافت، SAR و EC بر LLWR معنی‌دار ($P \leq 0/01$) گردید و مقدار آن با افزایش SAR و EC آب آبیاری کاهش یافت. در مورد شاخص S_1 ، تنها اثر SAR معنی‌دار ($P \leq 0/01$) گردید و مقدار آن با افزایش SAR به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت که بیانگر افت کیفیت فیزیکی خاک است. شاخص‌های DC، WAS، K_s نسبت به دو شاخص LLWR و S_1 بیشتر تحت تأثیر EC و SAR قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت، کیفیت فیزیکی خاک، منحنی رطوبتی، پایداری خاکدانه

مقدمه

خاکی افزایش یابد، نشان دهنده بهبود کیفیت فیزیکی خاک و کاهش آن به مفهوم افت آن و کاهش قدرت باروری خاک است (۳۴). اندازه-گیری ویژگی‌های فیزیکی خاک (مانند بافت، ساختمان و جرم مخصوص ظاهری) نمی‌تواند شاخصی منحصر به فرد برای پیش‌بینی مقدار رشد و تولید محصول گیاه باشد؛ اما LLWR با گردآوری چندین ویژگی فیزیکی خاک، علاوه بر نشان دادن میزان فراهمی آب برای گیاه، به‌عنوان شاخصی بسیار مناسب جهت ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک نیز بکار رفته است (۷). تعداد روزهای تنش یا به عبارتی تعداد روزهایی که رطوبت خاک خارج از محدوده LLWR قرار گیرد نیز پارامتر مفیدی است که با LLWR رابطه عکس و با رشد و عملکرد گیاه رابطه مستقیم دارد (۳).

دکستر (۸ و ۹) با توجه به تأثیرپذیری زیاد منحنی رطوبتی از اندازه و آرایش منافذ خاک، طی آزمایش‌های متعدد نشان داد که شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن (S_1) می‌تواند بازتاب‌دهنده جنبه‌های مختلف از ساختمان و کیفیت فیزیکی خاک از قبیل نفوذپذیری، سخت‌شدگی و فشردگی باشد. به همین دلیل وی شیب

کیفیت خاک^۳ یکی از موضوعاتی است که از سه جنبه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مورد توجه قرار گرفته است. LLWR^۴ دامنه‌ای از مقدار رطوبت خاک است که در آن رشد گیاه در ارتباط با تهویه، مقاومت مکانیکی و پتانسیل آب خاک، با کمترین محدودیت مواجه است و در خارج از این دامنه، محدودیت‌های فراهمی آب برای گیاه بیشتر می‌شود (۷). با استفاده از LLWR، عوامل فیزیکی مؤثر بر رشد گیاه در یک پارامتر خلاصه شده و می‌توان از آن به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی ساختمان خاک استفاده کرد. همچنین در مدیریت برنامه‌ریزی‌های آبیاری و خاک‌ورزی، LLWR شاخص مفیدی است (۳). چنانچه به دنبال یک مدیریت یا شرایط خاص، مقدار LLWR در

۱ و ۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(* - نویسنده مسئول: (Email: heidar_ghafari@yahoo.com)

3- Soil quality

4- Least limiting water range

شد (جدول ۱). در مرحله بعد خاک‌های هوا خشک غربال شده با الک ۴/۷۵ میلی‌متری، در لوله‌هایی از جنس PVC به ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۶ سانتی‌متر ریخته شد و به‌طور یکنواخت فشرده گردید. جرم مخصوص ظاهری ایجاد شده در ستون‌ها، با توجه به جرم مخصوص ظاهری آنها در شرایط طبیعی برای لوم شنی برابر $1/1 \text{ g cm}^{-3}$ و برای لوم رسی برابر $1/2 \text{ g cm}^{-3}$ بود. آزمایش به شکل فاکتوریل با سه فاکتور شامل بافت خاک، SAR و EC بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. سپس خاک هر ستون طی شش سیکل تر و خشک و در مدت چهار ماه، با محلول‌های ساخته شده آبشویی شد. خاک ستون‌ها از پایین در تماس مستقیم با یک بستر خاک به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر قرار گرفت تا زهکشی آنها سریع‌تر و مشابه با شرایط مزرعه انجام گیرد. پس از آخرین سیکل آبیاری، با استفاده از استوانه-های فلزی با قطر پنج و ارتفاع چهار سانتی‌متر، از هر ستون خاک سه نمونه دست‌نخورده از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری جهت اندازه‌گیری منحنی رطوبتی، منحنی مقاومت، هدایت هیدرولیکی اشباع و جرم مخصوص ظاهری برداشته شد. همچنین از هر ستون از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر یک نمونه دست‌خورده جهت اندازه‌گیری WAS، MWD و DC تهیه گردید.

محاسبه شاخص LLWR

شاخص LLWR، بر اساس منحنی رطوبتی (SMC)^۲ و منحنی مقاومت خاک (SRC)^۳ تعیین گردید (۷). LLWR تفاضل بین دو حد رطوبتی بالا و پایین است. حد بالایی آن رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{FC}) یا رطوبت در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد (θ_{AFP}) (هر کدام که کمتر باشد) و حد پایینی آن رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP}) یا رطوبت در مقاومت مکانیکی دو مگاپاسکال (θ_{SR}) (هر کدام که بیشتر باشد) است (۷).

تعیین منحنی رطوبتی خاک (SMC)

برای تعیین منحنی رطوبتی، نمونه‌های دست‌نخورده به سه گروه سه تایی تقسیم شده و به مدت ۲۴ ساعت از زیر با محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم اشباع شدند. در گروه اول رطوبت وزنی در مکش-های ماتریک ۲، ۴، ۷ و ۱۰ کیلوپاسکال توسط ستون‌های آب آویزان (قیف هینز) و در گروه دوم و سوم رطوبت در مکش ماتریک ۳۰ و ۱۰۰ کیلو پاسکال توسط دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری گردید. رطوبت در مکش‌های ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال با استفاده از نمونه دست‌خورده درون حلقه‌های لاستیکی دستگاه صفحات فشاری تعیین گردید (۱۷).

منحنی رطوبتی را شاخص کیفیت فیزیکی خاک^۱ نامید (۸). بنابراین هر عاملی که بتواند اندازه و آرایش منافذ خاک را تحت شعاع قرار دهد باعث تغییر شاخص S_i می‌گردد. شاخص S_i توانسته است یک ابزار ارزشمند در کمی‌سازی تخریب فیزیکی یا بهبود آن و نیز در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک‌ها باشد (۹).

ویرجینیا و همکاران (۳۲) با استفاده از دو شاخص LLWR و S_i ، کیفیت فیزیکی خاک سطحی سه منطقه متفاوت از لحاظ پوشش گیاهی را ارزیابی کردند. نتایج ایشان نشان داد شاخص S_i نسبت به تغییرات ساختمان خاک حساس است. تغییرات شاخص LLWR در مناطق مختلف تابعی از جرم مخصوص ظاهری خاک است. آنان در پایان اظهار داشتند این دو شاخص پارامترهای مناسبی برای بیان کیفیت فیزیکی خاک محسوب می‌گردند.

اندازه و پایداری خاکدانه‌ها، چون ویژگی پویاست و خیلی سریع به تغییر شرایط مدیریتی و محیطی پاسخ می‌دهد (۵)، توانسته است شاخصی از تغییرات کیفیت خاک ناشی از مدیریت‌ها و شرایط متفاوت باشد (۲). اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آنها اثر قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذ پذیری، تهویه، مقاومت خاک، فرسایش و توانایی خاک برای انتقال مایعات، املاح، گازها و گرما دارد (۲۶).

با توجه به این که شوری (EC) و سدیمی بودن (SAR) خاک، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک حائز اهمیت است و مطالعات در زمینه اثر این دو وضعیت بر شاخص‌های مذکور اندک می‌باشد، لذا هدف این پژوهش بررسی توأم اثرات سطوح مختلف شوری و سدیمی بودن آب آبیاری بر شاخص‌ها و خصوصیات فیزیکی خاک، یعنی LLWR، S_i ، WAS، MWD، DC و K_s در دو کلاس بافتی لوم رسی و لوم شنی است.

مواد و روش‌ها

تیمارهای شوری و سدیمی

محلول‌هایی با EC و SAR معین (EC در سه سطح ۰/۵، ۴ و 10 dS m^{-1} و SAR در چهار سطح ۱، ۵، ۱۵ و $(20 \text{ mmol/L})^{0.5}$) با استفاده از نمک‌های کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم ($\text{Ca/Mg}=1$) تهیه گردید. دو خاک غیر شور و غیر سدیمی از زمین-های کشاورزی منطقه اهر در استان آذربایجان شرقی در کلاس‌های بافتی لوم شنی و لوم رسی انتخاب و مقدار لازم از آنها به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عمومی آنها شامل بافت (۱۱)، کربن آلی (۲۱)، کربنات کلسیم معادل (۱۵)، قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم (۲۳) اندازه‌گیری

2- Soil moisture curve
3- Soil resistance curve

1- Index of soil physical quality

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی دو خاک بررسی شده

بافت خاک	رس (%)	شن (%)	OC (%)	ECe (dS/m)	SAR ((mmol/L) ^{0.5})	CCE (%)
لوم رسی	۳۷/۹	۳۹/۳	۰/۸۹	۰/۹۶۵	۰/۵۷	۱۰/۳۵
لوم شنی	۶/۴	۶۸/۹	۰/۶۸	۰/۴۹۳	۱/۵	۷/۵

رطوبت معادل تخلخل تهویه ای ۱۰ درصد (۱۲) از رابطه زیر به دست آمد:

$$\theta_{afp} = \theta_s - 0.1 \quad (3)$$

با تعیین چهار ثابت رطوبتی، مقادیر LLWR در تیمارهای مختلف محاسبه گردید (۷).

محاسبه شاخص S_i

برای به دست آوردن S_i، از مدل ون گنوختن (۳۰) به صورت زیر استفاده شد:

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_r \quad (8)$$

بدین منظور داده های منحنی رطوبتی به نرم افزار RETC (۳۱) وارد گردید. در برازش داده ها اجازه داده شد که θ_s و θ_r به عنوان پارامترهای برازش تلقی شوند. با تعیین پارامترهای α ، n و m شاخص S_i از معادله زیر محاسبه شد (۸):

$$S_i = -n (\theta_s - \theta_r) [2n - 1/n - 1]^{(1/n-2)} \quad (9)$$

مقادیر رطوبت (θ_i) و مکش (h_i) در نقطه عطف منحنی از معادلات زیر به دست آمدند (۸):

$$\theta_i = (\theta_s - \theta_r) [2n - 1/n - 1]^{(1/n-1)} + \theta_r \quad (10)$$

$$h_i = 1/\alpha + [n/n - 1]^{1/n} \quad (11)$$

اندازه گیری شاخص های پایداری خاکدانه

میانگین قطر خاکدانه (MWD) به روش یودر (۳۳) برای خاکدانه های کوچکتر از ۴/۷۵ میلی متر، پایداری مرطوب خاکدانه ها (WAS) با استفاده از دستگاه الک مرطوب (۱۶) برای خاکدانه های ۱-۲ میلی متر، رس قابل پراکنش (DC) به روش پوجاسوک و کی (۲۲) برای خاکدانه های ۱-۲ میلی متر و K_s به روش بار افشان (۱۸) در استوانه های فلزی به قطر ۵ و ارتفاع ۴ سانتی متر اندازه گیری گردید.

کلیه تجزیه و تحلیل های آماری به شکل فاکتوریل با سه فاکتور بافت خاک، SAR و EC بر پایه طرح کاملاً تصادفی، با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام گرفت. برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد مطالعه قبل از انجام آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

برای اندازه گیری θ_{FC} و θ_{PWP} داده های آزمایشگاهی منحنی رطوبتی به مدل نمایی پیشنهاد شده توسط داسیلوا و همکاران (۷) برازش گردید. این مدل به شکل زیر است:

$$\theta = \exp(a + bD_b) \psi^c \quad (1)$$

که در آن Ψ مکش ماتریک (MPa)، D_b جرم مخصوص ظاهری θ ($Mg\ m^{-3}$)، رطوبت حجمی خاک ($cm^3\ cm^{-3}$) و a ، b و c ضرایب مدل هستند.

رطوبت ظرفیت مزرعه ای در پتانسیل ماتریک ۰/۰۱ MPa (۱۳) و رطوبت نقطه پژمردگی در پتانسیل ماتریک ۱/۵ MPa (۲۴)، در نظر گرفته شد. برازش داده ها از طریق Solver که یکی از امکانات جانبی نرم افزار Excel است، صورت گرفت. این برنامه ضرایب را طوری انتخاب می کند که مجموع مربعات خطا (SSE) بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر تخمین زده شده کمترین مقدار ممکن باشد (۱۹).

تعیین منحنی مقاومت خاک (SRC)

مقاومت فروروی خاک در نمونه های دست نخورده خاک، در رطوبت های معادل مکش های ۳۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ kPa اندازه گیری شد. مقاومت فروروی خاک با استفاده از دستگاه ریزفروسنج مخروطی^۱ دیجیتالی (زاویه مخروط ۳۰ درجه، قطر انتهایی مخروط ۶ میلی متر، سرعت فروروی دو میلی متر در دقیقه و با فواصل یک میلی متر) در فاصله ۱ تا ۳ سانتی متری استوانه اندازه گیری شد. میانگین مقاومت خاک در مرکز هر استوانه به عنوان مقاومت فروروی در محاسبات استفاده گردید. برای تعیین θ_{SR} داده های مقاومت فروروی در برابر مقدار رطوبت و جرم مخصوص ظاهری خاک، با استفاده از مدل بوسچر (۴) برازش داده شد. معادله به شکل زیر است:

$$SR = d \theta^e D_b^f \quad (2)$$

که در آن D_b جرم مخصوص ظاهری خاک ($Mg\ m^{-3}$)، SR مقاومت فروروی خاک (Mpa)، θ رطوبت حجمی خاک ($cm^3\ cm^{-3}$) و e ، f و d ضرایب مدل می باشند. برازش داده ها به مدل بوسچر، مشابه با مدل SMC توسط Solver صورت گرفت. پس از تعیین ضرایب مدل، با قرار دادن عدد ۲ مگاپاسکال به عنوان مقدار بحرانی مقاومت خاک (۲۹) به جای SR و با داشتن D_b هر استوانه، رطوبت خاک در مقاومت فروروی ۲ مگاپاسکال (θ_{SR}) محاسبه شد.

1- Micropenetrometer

نتایج و بحث

شاخص LLWR

مقایسه آماری بین میانگین‌ها، با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد که در جدول ۳ ارائه شده است. شاخص LLWR در خاک لوم رسی نسبت به خاک لوم شنی به‌طور معنی‌داری بیشتر شده است. با افزایش SAR و EC، شاخص LLWR به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که دلیل آن افزایش بیشتر θ_{PWP} نسبت به θ_{FC} می‌باشد. با افزایش SAR، مقدار θ_{SR} نیز مشابه با θ_{PWP} به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. احتمالاً دلیل افزایش هر دوی آنها تخریب ساختمان خاک و پراکنده شدن ذرات رس در اثر افزایش SAR و پر شدن فضاهای خالی بین ذرات سیلت و شن است. دکستر و چان (۱۰) نیز گزارش کردند که کاتیون‌هایی مانند سدیم، با ایجاد پراکندگی باعث سخت شدن خاک و ایجاد بیشترین مقاومت در حالت خشک می‌گردند.

در ۹۸ درصد جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شده، دو ثابت رطوبتی θ_{FC} و θ_{PWP} به‌ترتیب مشخص کننده حد بالایی و پایینی LLWR بودند. نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثرات بافت، SAR و EC بر LLWR و ثابت‌های رطوبتی (θ_{WP} ، θ_{SR} ، θ_{FC} ، θ_{AFP})، در جدول ۲ ارائه شده است. اثر بافت خاک و SAR بر LLWR و بر ثابت‌های رطوبتی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. EC بر دو ثابت رطوبتی θ_{FC} و θ_{PWP} و نیز LLWR، در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌دار داشت. اثر متقابل بافت، EC و SAR چه به‌صورت دو به دو و چه هر سه بصورت توأم، بر LLWR و ثابت‌های رطوبتی، به‌جز دو مورد، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات بافت خاک و کیفیت آب آبیاری بر ثابت‌های رطوبتی و LLWR

میانگین مربعات					درجه آزادی	منبع تغییر
LLWR	θ_{SR}	θ_{PWP}	θ_{FC}	θ_{AFP}		
۳۶/۷۸**	۱۱/۴۱۵**	۴۷۵/۳۶**	۴/۵۵۸**	۰/۹۳۹**	۱	بافت خاک
۵/۱**	۰/۴۸۶**	۱۲/۰۷۷**	۰/۰۰۹**	۰/۰۱۱**	۳	SAR
۰/۶۰۶**	۰/۰۰۲ ^{ns}	۴/۷۵۲**	۰/۰۲۷**	۰/۰۰۵ ^{ns}	۲	EC
۱/۱۲۳**	۰/۰۱۸ ^{ns}	۲/۱۰۴**	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۸**	۳	بافت×SAR
۳/۰۱۵**	۰/۰۵۸**	۴/۰۴۶**	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۲	بافت×EC
۱/۲۶**	۰/۰۵۴**	۰/۹۲۲**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۷**	۶	EC×SAR
۲/۹۴۲**	۰/۰۰۸**	۲/۵۳۷**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۶	بافت×EC×SAR
۰/۰۱۹	۰/۰۰۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۱۶۸	خطا
۲/۳۱	۳/۳۳	۲/۱۷	۲	۱/۵		ضریب تغییرات (%)

*, **, و ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های ثابت‌های رطوبتی و LLWR با استفاده از آزمون دانکن

میانگین (حجمی)					سطوح تیمار	تیمار
LLWR	θ_{SR}	θ_{PWP}	θ_{FC}	θ_{AFP}		
۰/۱۸۳ ^a	۰/۱۵۴ ^a	۰/۱۹۲ ^a	۰/۳۷۴ ^a	۰/۴۴۸ ^b	لوم رسی	بافت خاک
۰/۱۵۷ ^b	۰/۰۹۳ ^b	۰/۱۱۹ ^b	۰/۲۷۶ ^b	۰/۴۶۹ ^a	لوم شنی	
۰/۱۷۶ ^a	۰/۱۲۱ ^a	۰/۱۴۲ ^b	۰/۳۱۸ ^b	۰/۴۵۹ ^a	۰/۵	EC (dS m ⁻¹)
۰/۱۶۷ ^b	۰/۱۲ ^a	۰/۱۴۷ ^b	۰/۳۱۳ ^b	۰/۴۶۲ ^a	۴	
۰/۱۶۸ ^b	۰/۱۲۱ ^a	۰/۱۵۸ ^a	۰/۳۲۶ ^a	۰/۴۵۸ ^a	۱۰	
۰/۱۸۶ ^a	۰/۱۰۷ ^c	۰/۱۳۸ ^a	۰/۳۲۳ ^b	۰/۴۶۱ ^a	۱	SAR (mmol _e /L) ^{0.5}
۰/۱۸۳ ^a	۰/۱۱۶ ^c	۰/۱۳۹ ^a	۰/۳۲۳ ^b	۰/۴۵۸ ^a	۵	
۰/۱۶۷ ^b	۰/۱۲۸ ^b	۰/۱۵۶ ^b	۰/۳۲۳ ^b	۰/۴۵۹ ^a	۱۵	
۰/۱۷۱ ^b	۰/۱۳۵ ^a	۰/۱۶۱ ^b	۰/۳۳۳ ^a	۰/۴۵۵ ^a	۲۵	

میانگین‌های دارای حرف لاتین مشابه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

شاخص S_i

خاک لوم شنی اندکی افزایش نشان داد؛ اما معنی دار نبود. h_i در خاک رسی و θ_i در خاک لوم شنی به طور معنی دار بیشتر بود. بیشتر بودن θ_i در خاک لوم شنی احتمالاً مربوط به بیشتر بودن تخلخل کل و در نتیجه بیشتر بودن آب نگهداری شده در نقطه نزدیک اشباع می باشد. شوری اثر معنی داری بر شاخص S_i نداشت. احتمالاً اثر هم‌اوری شوری توسط اثر پراکنش چرخه‌های خیس و خشک شدن خنثی شده و در نتیجه اثر شوری بر S_i معنی دار نشده است. S_i به عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک، با افزایش SAR از سطوح ۱ و ۵ به سطوح ۱۵ و ۲۵ به طور معنی داری کاهش یافت. کرسیمانو و همکاران (۶) گزارش کردند با افزایش شوری و سدیمی بودن آب آبیاری ساختمان خاک، توزیع اندازه و پیوستگی منافذ، تحت تأثیر قرار گرفته و در نتیجه سبب کاهش شیب منحنی رطوبتی در ناحیه غیراشباع می گردد.

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که تنها اثر فاکتور SAR بر شاخص S_i در سطح احتمال یک درصد معنی دار می باشد (جدول ۴). فاکتور EC اثر معنی داری بر h_i و θ_i نداشت؛ اما بر S_i تأثیر نداشت. روسو و برسلر (۲۵) گزارش دادند که با افزایش SAR خاک، شیب منحنی رطوبتی در ناحیه غیراشباع کاهش می یابد. با افزایش SAR غلظت یون های سدیم در لایه پخشیده دوگانه اطراف ذرات زیاد شده و در نتیجه رخداد دو فرآیند آماس و پراکندگی، منافذ خاک مسدود شده و ساختمان خاک تخریب می گردد. مقایسه میانگین های S_i ، h_i و θ_i تحت تأثیر بافت، SAR و EC، در سطح احتمال پنج درصد به روش آزمون دانکن انجام شد و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. مقدار S_i در بافت لوم رسی نسبت به

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات بافت و کیفیت آب آبیاری بر h_i و θ_i و شاخص S_i

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییر
S_i	θ_i	h_i		
۴/۳ ^{NS}	۲۷۵۷/۸**	۶۸۶۲/۶**	۱	بافت خاک
۷/۵**	۲۲۳۸/۶**	۲۱۱۶/۴**	۳	SAR
۲/۱ ^{NS}	۶۰۷۸/۳**	۱۱۳۴/۱**	۲	EC
۱/۵ ^{NS}	۴۱۲/۵ ^{NS}	۲۲۱۵/۴**	۳	بافت × SAR
۰/۶ ^{NS}	۶۰۸/۳ ^{NS}	۴۵۰/۱*	۲	بافت × EC
۱/۳ ^{NS}	۲۹۵/۱ ^{NS}	۲۶۲/۸ ^{NS}	۶	EC × SAR
۱/۹ ^{NS}	۳۶۷/۴ ^{NS}	۵۴۹/۶**	۶	بافت × EC × SAR
۱/۱	۲۱۶/۵	۱۲۰/۳	۴۸	خطا
۱۹/۴۲	۴/۳۶	۲۵/۶۹		ضریب تغییرات (%)

*, **, NS: به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و تفاوت غیر معنی دار

جدول ۵- مقایسه میانگین h_i ، θ_i و شاخص S_i با استفاده از آزمون دانکن

میانگین			سطوح تیمار	تیمار
S_i	θ_i	h_i		
۵/۶۴ ^a	۰/۳۳ ^b	۷۳/۵۹ ^a	لوم رسی	بافت خاک
۵/۱۵ ^a	۰/۳۴ ^a	۱۱/۸۳ ^b	لوم شنی	
۵/۱۱ ^a	۰/۳۲ ^b	۴۸/۲۴ ^a	۰/۵	EC (dS m ⁻¹)
۵/۷۱ ^a	۰/۳۴ ^a	۴۴/۸۷ ^a	۴	
۵/۳۷ ^a	۰/۳۵ ^a	۳۵/۰۱ ^b	۱۰	
۶/۰۹ ^a	۰/۳۴ ^a	۳۴/۶۱ ^b	۱	SAR (mmol/L) ^{0.5}
۵/۸۱ ^a	۰/۳۵ ^a	۳۲/۱۹ ^b	۵	
۴/۸۷ ^b	۰/۳۲ ^b	۵۳/۳۳ ^a	۱۵	
۴/۸۱ ^b	۰/۳۳ ^b	۵۰/۷۱ ^a	۲۵	

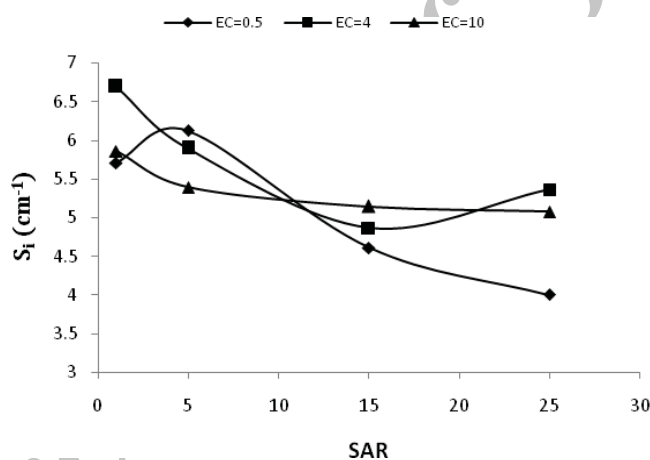
میانگین های دارای حرف لاتین مشابه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی دار ندارند.

این معنی باشد که شاخص مذکور یک شاخص غیرحساس به SAR و EC است و لذا پارامتری مفید و دقیق برای ارزیابی اثرات شوری و سدیمی بودن آب آبیاری بر خاک نباشد. بر خلاف MWD، اثر بافت بر شاخص WAS غیر معنی‌دار ولی اثر SAR و EC بر آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. یعنی تأثیرپذیری MWD و WAS از بافت، EC و SAR درست بر خلاف یکدیگر بوده است. بر اساس جدول ۶، اثرات اصلی هر سه فاکتور (بافت، SAR و EC) و نیز اثرات متقابل آنها (به جز اثر متقابل خاک و EC) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. بنابراین در میان شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، DC بیشترین تأثیرپذیری از SAR و EC را نشان داد. اثرات اصلی هر سه فاکتور (خاک، SAR و EC) و همچنین اثر متقابل آنها بر K_s در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۶).

مکش در نقطه عطف منحنی رطوبتی (h_i) با افزایش EC کاهش ولی با افزایش SAR افزایش یافته است که بیانگر تاثیر مخرب آن بر ساختمان خاک است. این یافته مطابق با نتایج مصدقی و همکاران (۲۰) می‌باشد. شکل ۱ نشان می‌دهد با افزایش EC آب آبیاری از ۰/۵ به ۱۰، شدت کاهش S_i در مقابل SAR کمتر است و نمودار شیب ملایم‌تری دارد. به این معنی که افزایش EC سبب کاهش اثرات مخرب SAR بر ساختمان خاک شده است.

شاخص‌های پایداری (DC, WAS, MWD) و هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های پایداری و هدایت هیدرولیکی اشباع در جدول ۶ ارائه شده است. در مورد شاخص MWD (برای خاکدانه‌های کوچکتر از ۴/۷۵ mm)، تنها اثر بافت معنی‌دار است ($P \leq 0.01$). معنی‌دار نبودن اثر SAR و EC روی MWD شاید به



شکل ۱- اثر EC و SAR بر شاخص (S_i) در خاک لوم رسی

جدول ۶- تجزیه واریانس برای صفات DC، WAS، MWD و K_s

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		Ks	DC	WAS	MWD
بافت خاک	۱	۲/۷۸۹**	۱/۲۴۴**	۱۳/۸۲۱ ^{ns}	۱۰/۱۷۴**
SAR	۳	۰/۰۲۵**	۳/۶۷۷**	۸۰۳/۴۴۴**	۰/۴۹۶ ^{ns}
EC	۲	۰/۰۱۴**	۰/۸۹۷**	۳۱۴۱/۶۱۷**	۰/۰۸۹ ^{ns}
بافت خاک×SAR	۳	۰/۰۱۸**	۰/۲۸۹**	۱۵۵/۴۱۳ ^{ns}	۰/۱۹۹ ^{ns}
بافت خاک×EC	۲	۰/۰۱**	۰/۰۳ ^{ns}	۵۰/۲۳۶ ^{ns}	۰/۱۹۴ ^{ns}
EC×SAR	۶	۰/۰۱**	۰/۷۱۶**	۸۰/۵۰۶ ^{ns}	۰/۱۸۹ ^{ns}
بافت خاک×SAR×EC	۶	۰/۰۰۵**	۰/۱۰۵**	۸۴/۸۲۷ ^{ns}	۰/۲۲۸ ^{ns}
خطا	۴۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	۶۲/۲۵	۰/۳۷۶
ضریب تغییرات (%)		۶/۵	۱۳/۰۲	۱۷/۴۷	۲۴/۳۹

** و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد و اختلاف بی‌معنی

DC به طور معنی دار کاهش یافت. در یک EC ثابت با افزایش SAR آب آبیاری، شاخص WAS به طور معنی دار کاهش و DC افزایش نشان داد. به طور کلی افزایش SAR آب آبیاری، پتانسیل خاک برای آماس، پراکندگی رس و فروپاشی خاکدانه ها را افزایش می دهد (۲۸). K_s در خاک لوم شنی به طور قابل توجه و معنی داری از خاک لوم رسی بیشتر بود که با توجه به تفاوت در توزیع اندازه منافذ بین دو خاک، تفاوت در K_s نیز قابل توجیه است. K_s با افزایش SAR به طور معنی دار کاهش و با افزایش EC افزایش یافت. پراکنده شدن ذرات رس موجب بسته شدن منافذ خاک، کاهش نفوذ آب و افزایش رواناب و فرسایش می گردد. افزایش EC باعث بهبودی ساختمان خاک و تشکیل منافذ بزرگتر شده است. آب های آبیاری با کیفیت پایین بر ویژگی های شیمیایی خاک اثر گذاشته و منجر به پراکنش ذرات خاک، انسداد سطحی و کاهش نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی می گرد (۱۴ و ۲۷).

نتیجه گیری

کیفیت آب آبیاری، بیشتر ویژگی ها و شاخص های فیزیکی خاک را تحت تأثیر قرار داد. استفاده از آب آبیاری با کیفیت پایین (SAR زیاد و EC کم) باعث کاهش شاخص های کیفیت فیزیکی خاک، یعنی LLWR و S_i گردید. در یک EC ثابت، با افزایش SAR هر دو شاخص LLWR و S_i به طور معنی دار کاهش یافتند. افزایش یون سدیم سبب پراکندگی ذرات خاک و تبدیل منافذ درشت به منافذ ریزتر و مسدود شدن برخی منافذ گردید که در نتیجه باعث افزایش رطوبت نگهداری، به ویژه در مکش های ماتریک زیاد و همچنین کاهش پایداری خاکدانه ها (WAS) و افزایش غلظت رس معلق در محلول و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک شد. میزان درصد افزایش یا کاهش شاخص های مختلف در $SAR=25$ نسبت به $SAR=1$ نشان می دهد میزان تأثیرپذیری این شاخص ها از SAR آب آبیاری به ترتیب $DC < K_s < WAS < S_i < LLWR < MWD$ می باشد. همچنین تأثیرپذیری این شاخص ها از EC آب آبیاری به ترتیب $DC < WAS < K_s < MWD < S_i < LLWR$ است. به طور کلی مشاهده می شود که شاخص LLWR و S_i نسبت به شاخص های دیگر حساسیت کمتری نسبت به SAR و EC آب آبیاری از خود نشان دادند.

تأثیرگذاری بسیار معنی دار تیمارهای EC و SAR بر DC و K_s در مقابل MWD احتمالاً به این دلیل است که EC و SAR بیشتر روی بخش ریز خاکدانه ها (۲-۱ میلی متر) تأثیر گذاشته و زمان آزمایش یا تعداد سیکل های خشک و مرطوب شدن به اندازه کافی زیاد نبوده تا بر خاکدانه های درشت نیز تأثیر بگذارد. MWD خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی به طور معنی داری بیشتر است (جدول ۷). نیشابوری و همکاران (۱) گزارش دادند شاخص MWD تأثیرپذیری معنی داری از کربنات کلسیم و SAR نداشت؛ ولی به طور معنی داری با درصد شن و درصد رس همبستگی داشت. آنان همچنین بیان کردند بکارگیری این شاخص برای مقایسه پایداری ساختمان خاک هایی مناسب است که تفاوت آنها عمدتاً بر مبنای بافت خاک و نه بر مبنای خصوصیات نظیر کربنات کلسیم معادل، EC یا SAR باشد. میانگین شاخص MWD در خاک لوم رسی و لوم شنی به ترتیب 0.343 و 0.492 mm بود. کمتر بودن مقدار MWD در خاک لوم رسی می تواند به خاطر پایداری کمتر خاکدانه ها در این خاک باشد. بین سطوح مختلف SAR و EC از نظر شاخص MWD اختلاف معنی داری دیده نشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین MWD، WAS، DC و K_s با استفاده از آزمون دانکن

تیمار	سطوح تیمار	میانگین			
		K_s	DC	WAS	MWD
بافت خاک	لوم رسی	$3/14^b$	$0/99^a$	$44/73^a$	$0/34^b$
	لوم شنی	$34/63^a$	$0/72^b$	$45/61^a$	$0/45^a$
EC ($dS m^{-1}$)	0/5	$6/5^b$	$1/01^a$	$57/66^a$	$0/40^a$
	4	$7/55^b$	$0/92^b$	$42/66^b$	$0/39^a$
	10	$8/41^c$	$0/64^c$	$35/20^c$	$0/37^a$
SAR ($mmol/L$) ^{0.5}	1	$8/80^a$	$0/37^d$	$52/66^a$	$0/38^a$
	5	$8/77^a$	$0/59^c$	$47/34^b$	$0/39^a$
	15	$6/98^b$	$1/11^b$	$40/26^c$	$0/42^a$
	25	$5/82^c$	$1/35^a$	$39/43^c$	$0/37^a$

میانگین های دارای حرف لاتین مشابه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی دار ندارند.

بین بافتها از لحاظ شاخص WAS اختلاف معنی داری مشاهده نگردید؛ اما شاخص DC خاک لوم رسی نسبت به خاک لوم شنی به طور معنی دار بیشتر است. با افزایش EC، هر دو شاخص WAS و

منابع

- ۱- نیشابوری م.ر.، صفرعلیزاده ن.، اوستان ش. و تورچی م. ۱۳۸۷. مقایسه شاخص‌های پایداری ساختمان و تأثیرپذیری آنها از خصوصیات خاک. مجله دانش کشاورزی، ۱۸(۳): ۹۹-۱۱۲.
- 2- Arshad M.A., and Coen G.M. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *America Journal of Alternative Agriculture*, 7: 25-31.
- 3- Benjamin J.G., Nielsen D.C., and Vigil M.F. 2003. Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. *Geoderma*, 116: 137-148.
- 4- Busscher W.J. 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content. *American Society Agricultural Engineers*, 3: 519-524.
- 5- Caravaca F., Lax A., and Albaladjeo J. 2004. Aggregate stability and characteristics of particle size fractions in cultivated and forest soils of semiarid Spain. *Soil & Tillage*, 78: 83-90.
- 6- Crescimanno G., Iovino M., and Provenzano G. 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. *Soil Science Society of America Journal*, 59: 1701-1708.
- 7- 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.
- 8- 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: 201-214.
- 9- Dexter A.R. 2004b. Soil physical quality. Part II: Friability, tillage, tith and hard-setting. *Geoderma*, 120: 215-226.
- 10- Dexter A.R., and Chan K.Y. 1991. Soil mechanical properties as influenced by exchangeable cations. *Eur. J. Soil Sci*, 42: 219-226.
- 11- Gee G.W. 2002. Particle size analysis. In: H.D. Jacob and G. Clarke Topp, Co-editor (ed.). pp. 201-414. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. A., Madison, WI., USA. Jaskson ML, 1958. Soil Chemical Analysis. Printice- Hall.*
- 12- Grable A.R., and Siemer E.G. 1968. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 32: 180-186.
- 13- Haise H.R., Haas H.J., and Jensen L.R. 1955. Soil moisture studies of some Great Plains soils. II. Field capacity as related to 1/3-atmosphere percentage, and minimum point as related to 15- and 26-atmosphere percentage. *Soil Science Society of America Proceedings*, 19: 20-25.
- 14- Halliwell D.J., Barlow K.M., and Nash D.M. 2001. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. *Australian Journal of Soil Research*, 39: 1259-1267.
- 15- Jaskson M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis. Printice- Hall, Englewood Cliff, 480.*
- 16- John R.N., and Kim S.P. 2002. Aggregate stability and size distribution. In: H.D. Jacob and G. Clarke Topp, Co-editor (Ed.). pp. 201-414. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. A., Madison, WI., USA.*
- 17- Klute A. 1986. Water retention: laboratory methods. pp. 635- 662. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1. 2nd ed. Physical and Mineralogical Methods., Agron. Monogr., vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- 18- Klute A., and Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. pp: 687-734. In: A. Klute (ed.), *Method of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- 19- Leao T.P., and Da Silva A.P. 2004. A simplified excel® algorithm for estimating the least limiting water range of soils. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 61: 649-654
- 20- Mosaddeghi M.R., Khatar M., Dexter A.R. Mahboubi M.M. 2008. Water characteristic curve and physical quality of soil as influenced by water salinity and sodicity. 2nd International Salinity Forum. Salinity, water and society- global issues, local action.
- 21- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 961-1010. In: D.L. Sparks (Ed.). *Methods of Soil Analyses. Part 3. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.*
- 22- Pojasok T., and Kay B.D. 1990. Assessment of a combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structure stability of moist aggregates. *Can. J. Soil. Sci*, 70: 33-42.
- 23- Richards L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook No. 60. USDA, Riverside.*
- 24- Richards L.A., and Weaver L.R. 1944. Fifteen-atmosphere percentage as related to the permanent wilting point. *Soil Sci*, 56: 331-339.
- 25- Russo D., and Bresler E. 1980. Soil-water-pressure relationships as affected by soil solution composition and concentration. In: Banin A., and Kafkafi, U. (Eds.) *Agrochemicals in Soils. Pergamon Press, Oxford*, pp: 287-296.
- 26- Seybold C.A., and Herrick J.E. 2001. Aggregate stability kit for soil quality assessments. *catena*, 44: 37-45.
- 27- Shainberg I., and Letey J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*, 61: 21-57.
- 28- Tajik F., Rahimi H., and Pazira E. 2003. Effects of electrical conductivity and sodim adsorption ratio of water on

- aggregate stability in soils with different organic matter content. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 5: 67-75.
- 29- Taylor H.M., Roberson G.M., and Parker J.J. 1966. Soil strength– root penetration relations for medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, 102: 18– 22.
- 30- Van Genuchten M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 44: 892–898.
- 31- Van Genuchten M.T., Leij F.J., and Yates S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA.
- 32- Virginia P.P., Maria E.O.E., Genelicio C.R., and Teogenes S.D.O. 2010. Least limiting water range and S index to evaluate some soil physical quality in the northeast Brazil. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.
- 33- Yoder R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. *J. Am. Agron*, 28: 337-351.
- 34- Zou G., Sands R., Buchan G., and Hudson I. 2000. Least limiting water range: A potential indicator of soil physical quality of forest soil. *Aust. J. Soil Res*, 38: 947-958.

Archive of SID

Salinity and Sodicity Effects of Irrigation Water on Soil Physical Quality Criteria

H. Ghafari^{1*} - M.R. Neyshabouri²

Received: 28-12-2010

Accepted: 20-11-2011

Abstract

Least limiting water range (LLWR), a proposed soil physical quality index, is the range of soil water content at which plant growth is least limited by water potential, aeration and soil mechanical resistance. The slope of the soil water retention curve at its inflection point (S_i) is also considered as a soil physical quality index which controls important soil physical behaviors. The purpose of this study was to assess the effects of electrical conductivity (EC) and sodium adsorption ratio (SAR) of the prepared solutions as irrigation water on LLWR and S_i in two clay loam and sandy loam soils under laboratory conditions. The treatments consisted of applying irrigation waters with three levels of EC (0.5, 4 and 10 dS m⁻¹) and four levels of SAR (1, 5, 15 and 25). Soil columns were arranged and irrigated with the prepared solution for 12 weeks during six wetting and drying cycles. At the end of this period LLWR, S_i and soil aggregate stability indices including MWD, WAS, DC and saturated hydraulic conductivity (K_s) were measured. Analysis of variance showed that the effect of soil texture, SAR and EC on LLWR was significant ($P \leq 0.01$) and increase in SAR and EC lead to decrease in LLWR. Increase in SAR from 1 to 25 resulted significant ($P \leq 0.01$) decrease in S_i index while S_i remained unaltered by EC of the irrigation water. DC, WAS and K_s than two indicators LLWR and S_i most affected by irrigation water EC and SAR.

Keywords: Least limiting water range, Soil physical quality, Water retention curve, Soil aggregate stability

1,2- Former MSc Student and Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Tabriz University
(*-Corresponding Author Email: heidar_ghafari@yahoo.com)