

بررسی تأثیر شوری و سدیم آب بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک و شاخص کیفیت فیزیکی خاک

سحر خزاعی^۱، حسین انصاری^۲، بیژن قهرمان^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۷

چکیده

با وجود افزایش تقاضای مواد غذایی و کمبود منابع آب شیرین، بررسی تأثیر استفاده از آب‌های شور و سدیمی بر ویژگی‌های خاک ضروری است. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر شوری و سدیم آب بر منحنی مشخصه رطوبتی و شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) می‌باشد. سه بافت لومی، رسی و شنی، سه سطح ۵، ۱۰ و ۲۰ برای SAR، سه سطح ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر برای EC و آب مقطر برای این منظور به کار برده شد. از نمک‌های NaCl، CaCl₂ و MgCl₂ با نسبت Ca:Mg=۲:۱ برای تهیه تیمارها استفاده شد. رطوبت نمونه‌ها توسط دستگاه صفحات فشاری در سه تکرار و در ۸ مکش اندازه‌گیری شد. با استفاده از نرم افزار RETC، پارامترهای معادله ونگنختن-معلم تعیین و سپس با استفاده از آن‌ها شاخص S نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد در یک SAR معین، با کاهش شوری مقادیر رطوبت در یک مکش خاص افزایش می‌یابد و این افزایش در مکش‌های بزرگ‌تر، بیشتر مشاهده شد. تأثیر شوری و سدیم برای خاک لومی و رسی بیش‌تر از شنی بود. همچنین شاخص S نیز با افزایش SAR و کاهش شوری کاهش یافت که نشان می‌دهد سدیم باعث تخریب ساختمان خاک شده است. نتایج تحلیل آماری نشان داد که شوری و سدیم تأثیر معنی‌داری (P<0.01) بر پارامترهای معادله ونگنختن-معلم و نیز شاخص S دارند. بنابراین کیفیت آب بر شکل منحنی رطوبتی خاک و شاخص S تأثیر دارد.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، شاخص S، معادله ونگنختن-معلم

مقدمه

رشد جهانی جمعیت، تقاضای مواد غذایی را افزایش داده است. تأمین این نیاز بشر، با استفاده بهینه از آب در کشاورزی فاریاب امکان‌پذیر است. با وجود این مسأله، کمبود آب شیرین، توسعه کشاورزی را محدود می‌کند. یکی از راهکارها برای حل این مسأله استفاده از آب‌های غیر متعارف (شور و سدیمی) است. استفاده از این آب‌ها به مطالعات و ملاحظات زیادی نیاز دارد تا بتوان تا حد امکان از اثرات منفی آن‌ها کاست. یکی از ویژگی‌های خاک غیراشباع، منحنی مشخصه رطوبتی است.

که به صورت گسترده در تعیین مقدار کل آب قابل دسترس در خاک، دور آبیاری و تخلخل موثر کاربرد دارد. تخلخل موثر در

زهکشی و مطالعات آب‌شویی استفاده می‌شود. منحنی مشخصه آب خاک رابطه رطوبت باقی‌مانده در حالت تعادل و مکش متناظر با آن را توصیف می‌کند و به شدت به توزیع اندازه خلل و فرج بستگی دارد (Sillers et al, 2001). لاگروفر و همکاران، دان و کلوت و سو و آیلور گزارش کردند که خلل و فرج خاک (مخصوصاً خلل و فرج بزرگ) با سدیم زیاد متلاشی می‌شوند. زیرا سدیم حل شده در خاک می‌تواند خلل و فرج بزرگ خاک را کاهش دهد (Lagerwerff et al, 1969, So & Aylmore, 1993, Dane & Klute, 1977). مالیک و همکاران اثر ترکیبی سدیم و کلسیم را بر تورم، پراکندگی و جریان آب در خاک‌های مونتوریلونیتیک بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که مقادیر رطوبت در هر مکش خاص با افزایش SAR یا کاهش شوری افزایش یافت (Malik et al, 1992). مصدقی و همکاران (۱۳۸۶) تأثیر شوری و سدیم آب را بر شکل و شیب منحنی مشخصه رطوبتی برای دو بافت رسی و لوم رسی شنی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش SAR و کاهش EC مقدار رطوبت در هر مکش معین افزایش می‌یابد. تأثیر کیفیت آب برای خاک رس مخصوصاً در مکش‌های زیاد محسوس‌تر بود زیرا خاک‌های رسی

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*) - نویسنده مسئول: Email: bijangh@ferdowsi.um.ac.ir

رسی و شنی انتخاب شد. نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر جمع‌آوری شدند. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی-متری عبور داده شدند. برخی از خصوصیات فیزیکی خاک‌ها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی خاک‌ها

درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	چگالی ظاهری (gr/cm ³)
۴۸	۴۰	۱۲	لومی	۱/۳
۲۰	۳۸	۴۲	رسی	۱/۱
۸۵	۱۰	۵	شنی	۱/۶

تیمارهای کیفیت آب شامل مقادیر EC، ۴، ۸ و ۱۲ dS/m و مقادیر SAR، ۵، ۱۰، ۲۰ و نیز تیمار آب معمولی با شوری بسیار کم ($EC=0.026 dS/m$) می‌باشد که در مجموع ۱۰ محلول با کیفیت‌های مختلف تهیه شد ($10 = \text{آب معمولی} + 3EC + 3SAR$). از نمک‌های $CaCl_2$ ، $NaCl$ و $MgCl_2$ با نسبت $Ca:Mg=2:1$ برای تهیه تیمارها استفاده شد. نسبت Na ، با توجه به SAR و EC محلول‌ها تعیین می‌گردد و برای هر محلول نسبت آن متغیر می‌باشد. آب معمولی به عنوان تیمار کنترل به کار برده شد.

از فرمول زیر برای محاسبه SAR استفاده شد:

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

تعیین منحنی مشخصه رطوبتی

برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی، نمونه‌های خاک در سیلندرهایی با قطر ۶ و ارتفاع ۴ سانتی‌متر ریخته شد. در مجموع ۹۰ نمونه (۳ تکرار $3 \times$ بافت خاک $10 \times$ محلول) آماده شد. نمونه‌ها برای مدت ۲۴ ساعت در محلول‌های آماده شده، از زیر اشباع شدند. سپس نمونه‌ها با روش جایگزینی برای ۲۴ ساعت و در سه تکرار بر روی صفحه سرامیکی تحت مکش ۳۰۰ سانتی‌متر قرار گرفتند. بعد از آن نمونه‌های خاک دوباره اشباع و وزن آنها اندازه‌گیری شد تا مقدار رطوبت اشباع به دست بیاید. مقادیر رطوبت در مکش‌های ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر توسط دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. منحنی‌های مشخصه رطوبتی مربوط به تیمارهایی با SAR یکسان و شوری‌های مختلف بر روی یک نمودار رسم شد. با استفاده از نرم‌افزار RETC، معادله ونگنوختن-معلم بر داده‌ها برازش داده شد و مقادیر پارامترهای معادله برای هر یک از تیمارها به دست آمد. معادله ونگنوختن (Van Genuchten, 1980) با فرض قبول شرط معلم (۱۹۸۶) ($m=1-1/n$)

سطح تماس و ذرات رس بیش‌تری دارند و در نتیجه با محلول‌ها واکنش بیش‌تری نشان می‌دهند و متورم می‌شوند. منحنی مشخصه رطوبتی برای آب معمولی (تیمار کنترل) نشان داد که مقدار آب در همه مکش‌های ماتریک نسبت به تیمارهای شوری دیگر کم‌تر بود. چادهاری و همکاران تأثیر SAR و شوری محلول‌های به تعادل رسیده را بر ویژگی‌های نگهداشت آب در خاک‌های رسی، لوم رسی و سیلتی لوم بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تأثیر کیفیت آب بر مقدار رطوبت اشباع در خاک‌های مختلف کم است. تأثیر شوری در مکش‌های کم مشاهده نشد. افزایش قابل توجهی در میزان آب قابل دسترس با افزایش SAR و کاهش شوری مشاهده شد (Chaudhari et al, 2007).

شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S)

کیفیت فیزیکی خاک بر حسب تابعی از خصوصیات مختلف خاک تعریف می‌شود: ویژگی‌های هیدرولیکی، ویژگی‌های مکانیکی، تهویه، ساختمان، انتقال املاح، نفوذ ریشه، قابلیت کار و قابلیت عبور و مرور. تلاش‌های اخیر در مورد تعیین شاخص کیفیت فیزیکی خاک تحت عنوان "ثوری S" توسط دکستر (Dexter, 2004) انجام شده که در مطالعات زیادی استفاده شده است. شاخص کیفیت فیزیکی خاک، S، شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف تعریف می‌شود که در این صورت رطوبت وزنی در برابر لگاریتم مکش ماتریک (سانتی‌متر) رسم می‌شود. مقادیر بزرگ‌تر S نشان دهنده ساختمان بهتر و در نتیجه کیفیت فیزیکی بهتر است. اطلاعات محدودی در مورد تأثیر کیفیت آب بر شاخص S وجود دارد (Dexter, 2004 a,b,c). مصدقی و همکاران (۱۳۸۶) تأثیر شوری و سدیم را در خاک‌های رسی و لوم رسی شنی بر شاخص S مطالعه کردند. آنها مشاهده کردند که شوری و سدیم تأثیر معنی‌داری بر S دارد به طوری که با افزایش SAR و کاهش شوری مقدار S کاهش می‌یابد. کاهش در مقدار S نشان دهنده تخریب ساختمان خاک است.

پژوهش‌های کمی در زمینه بررسی تأثیر شوری و سدیم آب بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک و شاخص S در ایران وجود دارد بطوریکه منابع فارسی مفیدی در این زمینه یافت نشد. در پژوهش مورد مطالعه، هدف، بررسی تأثیر شوری و سدیم آب بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از پارامترهای معادله ونگنوختن-معلم و نیز تأثیر آن‌ها بر شاخص S در سه بافت لومی، رسی و شنی است. هدف از انتخاب این سه نوع بافت خاک به دلیل انتخاب دامنه مختلفی از درصد رس می‌باشد. چون تأثیر کیفیت آب بر روی خاک به شدت به درصد رس خاک بستگی دارد.

مواد و روش‌ها

سه خاک کشاورزی غیر شور و غیر سدیمی با بافت‌های لومی،

مشخصه رطوبتی معادله ونگنوختن-معلم می‌باشد در این تحقیق تأثیر شوری و سدیم آب بر پارامترهای این معادله مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از داده‌های چگالی ظاهری، درصد شن، رس و سیلت نمونه‌های خاک و نیز رطوبت‌های اندازه‌گیری شده در ۷ مکش و نیز رطوبت اشباع، پارامترهای معادله ونگنوختن-معلم (معادله ۲) برای همه تیمارها به کمک نرم افزار RETC به دست آمد. جداول (۱) تا (۳) نشان می‌دهند که مقدار θ_s در یک SAR معین، با افزایش شوری کاهش یافته است و در یک EC معین با افزایش SAR مقدار آن افزایش یافته است. مقدار زیاد سدیم موجود در آب، باعث شکسته شدن خاکدانه‌ها، تورم رس‌ها و توسعه لایه دوگانه پخشیده می‌شود که در نتیجه ساختمان خاک تخریب می‌شود و منافذ بزرگ خاک به منافذ کوچک‌تری تبدیل می‌شوند. در چنین شرایطی، ذرات خاک بیشتر در معرض جذب آب قرار گرفته و ذرات رس پراکنده شده همراه با جریان آب در خاک حرکت کرده و در منافذ کوچک خاک ته‌نشین می‌شوند. به همین دلیل با افزایش SAR آب (افزایش سدیم) قابلیت جذب آب در خاک افزایش یافته و در عوض سرعت حرکت آب در خاک کند می‌شود. مصدقی و همکاران (۱۳۸۶) تأثیر شوری و سدیم را بر رطوبت اشباع در خاک‌های رسی و لوم رسی شنی گزارش کردند به طوری که با افزایش SAR و کاهش شوری مقدار رطوبت اشباع کاهش یافت. مقادیر θ_r برای تیمارهای مختلف تغییر کرده است اما روند منظمی مشاهده نمی‌شود. مقادیر رطوبت باقی‌مانده (به جز خاک شنی) و رطوبت اشباع برای خاک رس نسبت به خاک لومی و برای خاک لوم نسبت به خاک شنی افزایش یافته است، که ممکن است به دلیل افزایش مقدار رس باشد. R^2 ضریب تعیین بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر تخمین زده شده با معادله ونگنوختن-معلم است (عباسی، ۱۳۸۶). همانطور که در جداول (۱) تا (۳) مشاهده می‌شود، مقادیر R^2 برای همه تیمارها زیاد است و نزدیک به یک است و این نشان می‌دهد تطابق خوبی بین منحنی‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده و برازش داده شده وجود دارد.

منحنی مشخصه رطوبتی

منحنی‌های مشخصه رطوبتی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای سه بافت خاک لومی، رسی و شنی رسم شده‌اند (شکل‌های ۱ تا ۳). به طور کلی مشاهده شد که نگهداشت آب در هر مکش معین برای خاک رسی بیش‌تر از خاک لومی و برای خاک لومی بیش‌تر از خاک شنی است. با توجه به شکل (۲) کاهش رطوبت با افزایش مکش برای خاک رسی تدریجی‌تر از خاک لومی و شنی است.

برای منحنی مشخصه رطوبتی به صورت زیر است (عباسی، ۱۳۸۶):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^{1-1/n}} \quad (2)$$

که در آن θ_s و θ_r به ترتیب مقادیر رطوبت اشباع و رطوبت باقی‌مانده هستند. h و θ مقادیر رطوبت و مکش ماتریک در یک نقطه از منحنی؛ α عکس مکش ماتریک در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی و n پارامتر تجربی معرف شکل منحنی برازش داده شده است.

تعیین شاخص S

شاخص کیفیت فیزیکی خاک دکستر (S) با استفاده از پارامترهای برازش داده شده بر مدل ونگنوختن محاسبه شد (Dexter, 2004, a). موقعیت و شیب نقطه عطف منحنی رطوبتی به صورت زیر استخراج شد. اگر منحنی رطوبتی به صورت $\log(h)$ در مقابل θ رسم شود، سپس مکش ماتریک در نقطه عطف (h_i) می‌شود:

$$h_i = \frac{1}{\alpha} + \left[\frac{n}{n-1} \right]^{1/n} \quad (3)$$

با جایگذاری معادله (۳) در معادله ونگنوختن-معلم (معادله ۲) مقدار رطوبت و شیب در نقطه عطف به ترتیب با روابط (۴) و (۵) بیان می‌شوند:

$$\theta_i = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[\frac{2n-1}{n-1} \right]^{1/n-1} \quad (4)$$

$$S = -n (\theta_s - \theta_r) \left[\frac{2n-1}{n-1} \right]^{1/n-2} \quad (5)$$

طرح آماری برای تحلیل منحنی مشخصه رطوبتی و شاخص کیفیت فیزیکی خاک

پس از تعیین پارامترهای معادله ونگنوختن-معلم و نیز محاسبه S برای همه تیمارها، برای تعیین تأثیر کیفیت آب بر روی این پارامترها، آزمایش طرح فاکتوریل انجام شد. به طوری که سه عامل بافت، شوری و SAR و هر کدام در سه سطح و در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. محاسبات توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای تعیین این که اختلافات مشاهده شده دقیقاً مربوط به کدام تیمار بوده از مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن (در سطح ۹۵٪ اطمینان) استفاده شد. در این پژوهش وجود یا عدم وجود همبستگی بین S با SAR و EC بررسی شد. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مقدار ضریب همبستگی و معنی‌دار بودن آن‌ها به دست آمد.

نتایج و بحث

تعیین پارامترهای معادله ونگنوختن-معلم

از آنجایی که یکی از معادلات پرکاربرد برای تعیین منحنی

جدول ۱- پارامترهای محاسبه شده معادله ونگنوختن-معلم با استفاده از RETC - خاک لوم

R ²	θ_r	θ_s	α	n	تیمار	
					EC(dS/m)	SAR
۰/۹۷	۰/۰۲۱	۰/۳۲۰	۰/۰۲۸	۱/۲۶۳	۴	۵
۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۳۱۰	۰/۰۴۶	۱/۲۰۶	۸	۵
۰/۹۶	۰/۰۰۰	۰/۳۱۰	۰/۰۵۱	۱/۱۹۹	۱۲	۵
۰/۹۵	۰/۰۰۰	۰/۳۴۰	۰/۰۷۲	۱/۱۶۴	۴	۱۰
۰/۹۹	۰/۰۴۸	۰/۳۴۰	۰/۰۱۸	۱/۳۳۱	۸	۱۰
۰/۹۹	۰/۰۲۵	۰/۳۴۰	۰/۰۱۱	۱/۴۱۳	۱۲	۱۰
۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۳۴۰	۰/۰۱۲	۱/۱۵۷	۴	۲۰
۰/۹۸	۰/۰۰۰	۰/۳۳۰	۰/۰۲۷	۱/۲۲۹	۸	۲۰
۰/۹۷	۰/۰۰۰	۰/۳۳۹	۰/۰۲۱	۱/۲۶۲	۱۲	۲۰
۰/۹۸	۰/۰۰۰	۰/۳۴۰	۰/۰۳۴	۱/۲۶۶	آب معمولی	

جدول ۲- پارامترهای محاسبه شده معادله ونگنوختن-معلم با استفاده از RETC خاک رس

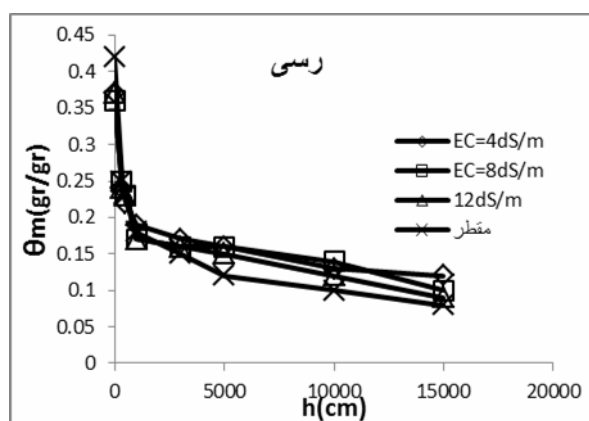
R ²	θ_r	θ_s	α	n	تیمار	
					EC(dS/m)	SAR
۰/۹۹	۰/۰۷۳	۰/۳۶۰	۰/۰۱۳	۱/۳۳۲	۴	۵
۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۳۶۰	۰/۰۱۷	۱/۲۱۶	۸	۵
۰/۹۹	۰/۰۱۹	۰/۳۵۰	۰/۰۰۶	۱/۳۲۴	۱۲	۵
۰/۹۹	۰/۰۸۳	۰/۳۹۰	۰/۰۱۲	۱/۳۴۰	۴	۱۰
۰/۹۸	۰/۰۶۴	۰/۳۷۰	۰/۰۱۳	۱/۳۰۱	۸	۱۰
۰/۹۸	۰/۰۲۵	۰/۳۵۰	۰/۰۱۳	۱/۲۴۲	۱۲	۱۰
۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۳۷۰	۰/۰۴۴	۱/۱۶۷	۴	۲۰
۰/۹۷	۰/۰۵۳	۰/۳۶۰	۰/۰۱۶	۱/۲۸۰	۸	۲۰
۰/۹۸	۰/۰۰۰	۰/۳۷۰	۰/۰۲۲	۱/۲۱۴	۱۲	۲۰
۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۴۲۰	۰/۰۱۹	۱/۲۷۴	آب معمولی	

جدول ۳- پارامترهای محاسبه شده معادله ونگنوختن-معلم با استفاده از RETC - خاک شنی

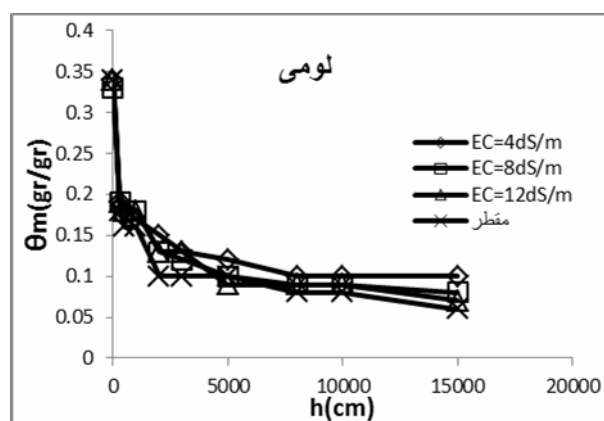
R ²	θ_r	θ_s	α	n	تیمار	
					EC(dS/m)	SAR
۰/۹۹	۰/۰۳۶	۰/۲۷۰	۰/۰۰۳	۴/۱۰۰	۴	۵
۰/۹۹	۰/۰۳۱	۰/۲۵۰	۰/۰۰۳	۴/۶۰۰	۸	۵
۰/۹۹	۰/۰۳۸	۰/۲۴۰	۰/۰۰۴	۵/۶۷۱	۱۲	۵
۰/۹۷	۰/۰۰۳	۰/۲۵۸	۰/۰۰۴	۱/۶۱۰	۴	۱۰
۰/۹۹	۰/۰۳۰	۰/۲۶۰	۰/۰۰۴	۴/۴۳۰	۸	۱۰
۰/۹۹	۰/۰۳۸	۰/۲۴۰	۰/۰۰۴	۴/۷۰۷	۱۲	۱۰
۰/۹۹	۰/۰۳۸	۰/۲۷۰	۰/۰۰۹	۱/۹۲۰	۴	۲۰
۰/۹۹	۰/۰۳۲	۰/۲۶۰	۰/۰۰۶	۲/۳۳۷	۸	۲۰
۰/۹۹	۰/۰۴۱	۰/۲۷۰	۰/۰۰۸	۲/۴۶۹	۱۲	۲۰
۰/۹۹	۰/۰۳۹	۰/۲۴۰	۰/۰۰۶	۲/۸۳۹	آب مقطر	

در خاک شنی (شکل ۳)، در مکش‌های کمتر از ۱۰۰۰ سانتی‌متر

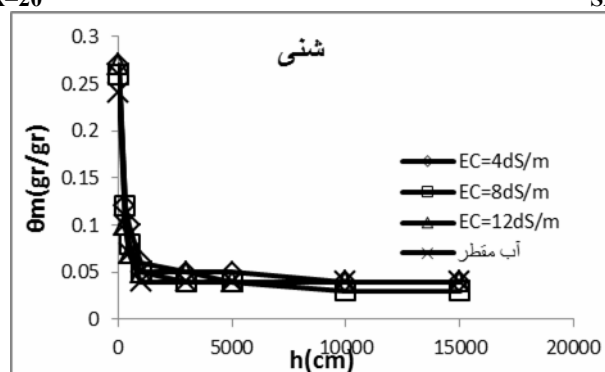
رطوبت به صورت ناگهانی کاهش یافته و بعد از آن در مکش‌های بیش‌تر به صورت ناچیزی تغییر کرده است. زیرا خاک شنی دارای منافذ درشت بیش‌تری از خاک لومی و رسی است و از آنجایی که منافذ درشت در مکش‌های کم، خالی از آب می‌شوند، خاک شنی سریع‌تر از خاک‌های دیگر رطوبت خود را از دست می‌دهد. با توجه به شکل‌های (۱) تا (۳) مشاهده می‌شود که در هر سه بافت لومی، رسی و شنی در هر SAR معین، با کاهش شوری مقدار رطوبت در هر مکش معین افزایش یافته است. این افزایش در مکش‌های بزرگ‌تر، بیش‌تر است. تأثیر SAR در شوری‌های کم بیشتر مشاهده می‌شود. مالیک و همکاران نیز که تأثیر شوری و سدیم را بر خاک‌های مونتوریلونیتیک بررسی کردند به این نتیجه رسیدند که مقادیر رطوبت در هر مکش خاص با افزایش SAR یا کاهش شوری افزایش می‌یابد. در پژوهش حاضر تغییرات رطوبت در اثر شوری و سدیم آب در خاک شنی نسبت به خاک لومی و رسی کمتر بود زیرا خاک شنی درصد رس کمتری دارد، بنابراین تورم و پراکندگی ذرات در این خاک کمتر اتفاق می‌افتد و در نتیجه تغییرات نگهداشت رطوبت کاهش می‌یابد. در خاک لومی و رسی تغییرات رطوبت در تیمارهایی با شوری مختلف و SAR=۵ تفاوت زیادی نشان نمی‌دهند. در SAR=۱۰ تغییرات رطوبت خاک رسی بیش‌تر از خاک لومی و در SAR=۲۰ تغییرات رطوبت در خاک لومی بیش‌تر از خاک رسی بود (Malik et al, 1992). مصدقی و همکاران (۱۳۸۶) تأثیر شوری و سدیم را برای دو بافت رسی و لوم رسی شنی بررسی کردند. تیمارهای کیفیت آب شامل مقادیر EC، ۰/۵، ۲، ۴ و ۸ dS/m و مقادیر SAR، ۱، ۵، ۱۳ و ۱۸ و نیز تیمار آب مقطر بود. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش SAR و کاهش EC مقدار رطوبت در هر مکش معین افزایش می‌یابد. آن‌ها هم-چنین مشاهده کردند که تأثیر کیفیت آب برای خاک رس مخصوصاً در مکش‌های زیاد محسوس‌تر بود. دلیل اینکه در این پژوهش تأثیر کیفیت آب بر خاک رس و لوم تفاوت چندانی نداشته ممکن است به دلیل درجه تراکم خاک‌ها باشد. زیرا هرچه خاک متراکم‌تر شود منافذ درشت آن کمتر می‌شود. به طور کلی در هر سه بافت خاک، تیمار آب معمولی کمترین مقدار رطوبت را در هر مکش معین، نسبت به تیمارهای دیگر دارد. مصدقی و همکاران (۱۳۸۶) نیز به نتیجه مشابهی رسیدند. می‌توان گفت آب معمولی به دلیل نداشتن نمک‌های محلول باعث کم شدن غلظت یون‌ها در محلول خاک می‌شود و از آنجایی که توسعه لایه دوگانه پخشیده رابطه معکوسی با غلظت یون‌ها دارد، ضخامت این لایه افزایش می‌یابد زیرا هر چه غلظت محلول خاک کاهش یابد، کاتیون‌ها با نیروی کم‌تری جذب ذرات رس می‌شوند و از آن فاصله می‌گیرند. در نتیجه ذرات خاک پراکنده می‌شوند و از آنجایی که یون سدیم نیز وجود ندارد، ذرات متورم نشده و نمی‌توانند رطوبت بیش‌تری در خود نگه دارند.



شکل ۲- منحنی مشخصه رطوبتی در شوری‌های متفاوت و در
SAR=20



شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبتی در شوری‌های متفاوت و در
SAR=20



شکل ۳- منحنی مشخصه رطوبتی در شوری‌های متفاوت و در
SAR=20

بهبود بخشیده و باعث افزایش کیفیت فیزیکی خاک می‌شود. با توجه به شکل (۴)، برای خاک لومی، مقدار S، با افزایش EC به ۴dS/m و SAR به ۵، نسبت به آب مقطر کاهش یافته است. می‌توان گفت به دلیل عدم وجود یون سدیم در آب مقطر است که مانع تخریب ساختمان خاک شده است. در EC=۴dS/m، با افزایش در مقدار SAR، مقدار S کاهش یافته است. اما در EC=۸dS/m و EC=۱۲dS/m، با افزایش SAR از ۵ به ۱۰، مقدار S نیز افزایش یافته که می‌تواند به دلیل خنثی شدن اثرات منفی SAR توسط شوری‌های زیاد باشد. با افزایش SAR به مقدار ۲۰، همانطور که انتظار می‌رود، مقدار S کاهش یافته است که به دلیل غالب شدن اثر سدیم در محلول خاک است.

با توجه به شکل (۵)، در خاک رسی مقدار S در مقایسه با آب مقطر با افزایش EC به ۴dS/m و SAR به ۵ کاهش یافته است. می‌توان گفت به دلیل عدم وجود یون سدیم در آب مقطر است که مانع تخریب ساختمان خاک شده است. با توجه به شکل (۶)، در خاک شنی مقدار S در مقایسه با آب مقطر با افزایش EC به ۴dS/m و SAR به ۵ افزایش یافته است. می‌توان گفت به دلیل کم بودن مقدار

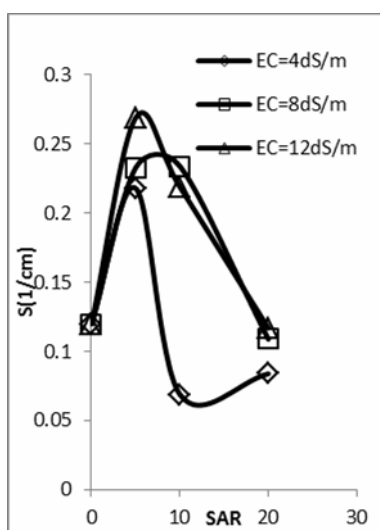
با افزایش نمک‌های محلول در خاک منافذ ریز بیش‌تر می‌شوند و می‌توانند آب بیش‌تری در خود ذخیره کنند. تفاوت تیمار آب مقطر با تیمارهای دیگر در خاک رسی بیش‌تر است و این به دلیل وجود منافذ ریز بیش‌تر در خاک رسی نسبت به خاک‌های دیگر است.

شاخص کیفیت فیزیکی خاک

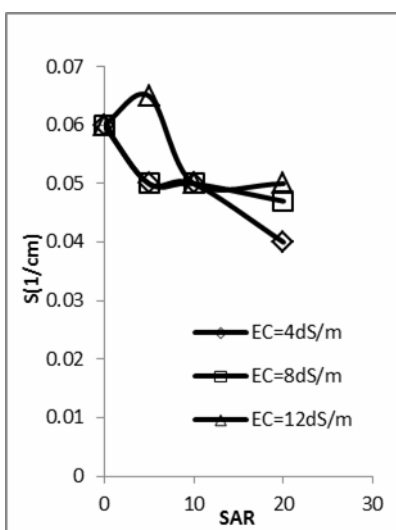
با توجه به شکل‌های (۴) تا (۶)، در هر EC معین، با افزایش SAR مقدار S کاهش یافته است. سدیم موجود اثر منفی بر ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها دارد (Abu-Sharar et al, 1987). در نتیجه ساختمان خاک را تخریب می‌کند. هیدراته شدن یون‌های سدیم به صورت فیزیکی و شیمیایی ذرات خاک را پراکنده می‌کند. این پراکندگی زمانی که یون‌های هیدراته سدیم بر DDL اطراف صفحات غالب شود، اتفاق می‌افتد و در نتیجه تورم بیش‌تر می‌شود و رس‌ها در محلول رسوب می‌کنند (کرن و شنبرگ، ۱۹۸۱). کاهش S به معنای تخریب ساختمان خاک و کاهش کیفیت فیزیکی خاک می‌باشد (Dexter, 2004)، در هر SAR معین، با افزایش EC مقدار S افزایش یافته زیرا افزایش EC تأثیر منفی SAR بر ساختمان خاک را

تحلیل آماری تأثیر کیفیت آب بر پارامترهای معادله ونگنوختن-معلم و موقعیت نقطه عطف منحنی و شاخص S
برای تعیین تأثیر کیفیت آب بر پارامترهای معادله ونگنوختن-معلم و موقعیت نقطه عطف منحنی و شاخص S آزمایش طرح فاکتوریل انجام شد. به طوری که سه فاکتور بافت، شوری و SAR و هر کدام در سه سطح و در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که همه اثرات اصلی (اثرات بافت خاک، شوری و SAR) و نیز اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار شده‌اند.

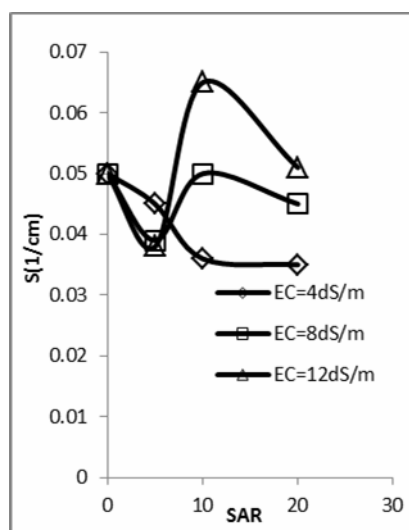
رس در خاک شنی، افزایش SAR تأثیر منفی بر ساختمان خاک نداشته و همچنین شوری باعث همآوری ذرات و بهبود ساختمان خاک شده است. در SARهای ۱۰ و ۲۰ همه تیمارها با کاهش S همراه بودند. در مورد $EC=4dS/m$ و $SAR=20$ استثناء است. مصدقی و همکاران (۱۳۸۶) تأثیر شوری و سدیم را در خاک‌های رسی و لوم رسی شنی بر شاخص S بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که شوری و سدیم تأثیر معنی‌داری بر S دارد به طوری که با افزایش SAR و کاهش شوری مقدار S کاهش یافت.



شکل ۳- تأثیر شوری و سدیم بر S- خاک شنی



شکل ۴- تأثیر شوری و سدیم بر S- خاک رسی



شکل ۵- تأثیر شوری و سدیم بر S- خاک لومی

جدول ۲- تحلیل آماری تأثیر کیفیت آب بر پارامترهای معادله ونگنوختن-معلم و موقعیت نقطه عطف منحنی و شاخص S

F ratio							df	منابع واریانس
S (cm ⁻¹)	θ_i (gr/gr)	h_i (cm)	n	α (1/cm)	θ_r (gr/gr)	θ_s (gr/gr)		
۱/۱۵×۱۰ ^{-۷}	۸/۳۳×۱۰ ^{-۶}	۳/۰۴×۱۰ ^{-۱۱}	۳/۷۹×۱۰ ^{-۱۱}	۳/۹۳×۱۰ ^{-۷}	۳/۹۳×۱۰ ^{-۷}	۶/۴۰×۱۰ ^{-۴}	۲	بافت
۶/۶۶×۱۰ ^{-۵}	۵/۰۵×۱۰ ^{-۵}	۳/۰۹×۱۰ ^{-۹}	۲/۱۱×۱۰ ^{-۱۰}	۲/۹۶×۱۰ ^{-۶}	۴/۶۱×۱۰ ^{-۶}	۸۱۹/۹۸	۲	EC
۱/۲۶×۱۰ ^{-۶}	۳/۵۸×۱۰ ^{-۵}	۵/۳۷×۱۰ ^{-۱۰}	۴/۲۳×۱۰ ^{-۱۰}	۲/۶۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۵۹×۱۰ ^{-۷}	۱/۶۴×۱۰ ^{-۲}	۲	SAR
۳/۵۸×۱۰ ^{-۵}	۲/۵۲×۱۰ ^{-۵}	۲/۱۶×۱۰ ^{-۹}	۱/۸۸×۱۰ ^{-۱۰}	۵/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۱/۳۳×۱۰ ^{-۷}	۱۲۲/۱۹	۴	بافت*EC
۱/۰۹×۱۰ ^{-۶}	۴/۵۲×۱۰ ^{-۵}	۲/۰۲×۱۰ ^{-۱۰}	۳/۸۲×۱۰ ^{-۱۰}	۷/۳۵×۱۰ ^{-۶}	۱/۴۶×۱۰ ^{-۷}	۴۲۹/۴۵	۴	بافت*SAR
۱/۵۲×۱۰ ^{-۵}	۲/۵۹×۱۰ ^{-۵}	۷/۹۹×۱۰ ^{-۹}	۵/۵۴×۱۰ ^{-۹}	۴/۰۰×۱۰ ^{-۶}	۱/۵۴×۱۰ ^{-۷}	۲۷۲/۹۵	۴	EC*SAR
۱/۵۲×۱۰ ^{-۵}	۲/۳۵×۱۰ ^{-۵}	۱/۷۳×۱۰ ^{-۱۰}	۴/۹۸×۱۰ ^{-۹}	۶/۷۱×۱۰ ^{-۶}	۱/۰۸×۱۰ ^{-۷}	۱۳۵/۱۵	۸	بافت*EC*SAR

* همه مقادیر F در سطح ۹۹٪ معنی‌دار شدند.

df: درجه آزادی

θ_s : رطوبت اشباع

θ_r : رطوبت باقی‌مانده

α و n: پارامترهای شکل معادله ونگنوختن-معلم

h_i : مکش ماتریک در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی

θ_i : رطوبت در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی

S: شاخص کیفیت فیزیکی خاک

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای معادله ونگنختن- معلم و موقعیت نقطه عطف منحنی و شاخص S

تیمار	سطوح	میانگین					S (cm ⁻¹)
		θ_s (gr/gr)	θ_r (gr/gr)	α (1/cm)	n	h_i (cm)	θ_i (gr/gr)
بافت	لومی	۰/۳۲۹	۰/۰۱۰	۰/۰۳۱	۱/۲۵	۳۷	۰/۰۴
	رسی	۰/۳۶۴	۰/۰۳۵	۰/۰۱۷	۱/۲۷	۲۳۸	۰/۰۵
	شنی	۰/۲۵۸	۰/۰۳۲	۰/۰۰۵	۳/۵۴	۲۴۳	۰/۱۷
	۴	۰/۳۲۴	۰/۰۲۸	۰/۰۲۲	۱/۶۷	۱۵۹	۰/۰۷
EC	۸	۰/۳۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۱۶	۲/۱۰	۱۸۲	۰/۰۹
	۱۲	۰/۳۱۲	۰/۰۲۰	۰/۰۱۵	۲/۲۸	۱۷۷	۰/۱۰
	۵	۰/۳۰۸	۰/۰۲۴	۰/۰۱۹	۲/۴۳	۲۰۹	۰/۱۱
SAR	۱۰	۰/۳۲۱	۰/۰۳۵	۰/۰۱۷	۲/۰۶	۱۹۳	۰/۰۹
	۲۰	۰/۳۲۳	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۱/۵۶	۱۱۶	۰/۰۶

*میانگین همه تیمارها در سطح ۹۹٪ با هم اختلاف معنی دار دارند

نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به توضیحات ارائه شده در خصوص تغییرات منحنی رطوبتی و تأثیر کیفیت آب بر پارامترهای معادله ونگنختن، کیفیت آب (شوری و سدیم) بر شکل و شیب منحنی نگهداشت آب در خاک تأثیر گذار است. با افزایش SAR و کاهش EC محلول خاک، ذرات رس متورم می شوند و اندازه منافذ ریزتر می شوند و در نتیجه مقدار نگهداشت آب در خاک افزایش می یابد. با افزایش سدیم خاک، ذرات خاک پراکنده می شوند و ساختمان خاک تخریب می شود و در نهایت شاخص کیفیت فیزیکی خاک نیز کاهش می یابد. پیشنهاد می شود این پژوهش برای سایر بافت ها و نیز کیفیت های متفاوت آب نیز انجام شود.

منابع

عباسی، ف. ۱۳۸۶. فیزیک خاک پیشرفته. چاپ اول دانشگاه تهران. تهران.

Abu-sharar, I.M., Bingham, F.T. and Rhoades, J.D. 1987. Reduction in hydraulic conductivity in relation to clay dispersion and disaggregation. Soil Sci. Am. J. 51: 342-346.

Chaudhari, S.K., Somawanshi, R.B and Gopalibardhan. 2007. Effect of water quality on moisture retention in soils of different texture. Jour. Agric. Physics. 7: 20-26.

Dane, J.H and A. Klute, 1977. Salt effects on the hydraulic properties of a swelling soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 1043-1049.

یعنی کاربرد آب شور و سدیمی می تواند به طور معنی داری بر پارامترهای معادله ونگنختن و نیز بر شاخص کیفیت فیزیکی خاک تأثیر گذار باشد. برای تعیین اینکه اختلافات مشاهده شده دقیقاً مربوط به کدام تیمار است از مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن استفاده شد. همه میانگین ها نیز با هم اختلاف معنی دار داشتند (جدول ۳)

در این پژوهش وجود یا عدم وجود همبستگی بین S با SAR و EC تعیین شد. بدین منظور با استفاده از نرم افزار SPSS، مقدار ضریب همبستگی و معنی دار بودن آنها تعیین شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که همبستگی معنی داری بین مقادیر S با EC یا SAR وجود ندارد. اما این موضوع به این معنا نیست که کیفیت آب تأثیری بر شاخص کیفیت فیزیکی خاک ندارد بلکه می تواند به دلیل تعداد کم تیمارهای آزمایش باشد. بنابراین بهتر است این عمل برای تیمارهای کیفیت آب بیش تری انجام شود.

جدول ۴- تعیین ضریب همبستگی تیمارهای کیفیت آب با شاخص S

تیمار	سطوح	ضریب همبستگی (R)		
		لوم	رسی	شنی
EC	۴	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۰۹۶*	۰/۱۴ ^{ns}
	۸	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}
	۱۲	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۰۸۴ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}
	۵	۰/۰۹۷*	۰/۰۰ ^{ns}	۰/۰۹۳ ^{ns}
SAR	۱۰	۰/۰۶۴ ^{ns}	۰/۰۷۷ ^{ns}	۰/۰۷۶ ^{ns}
	۲۰	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۰۳۶ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}

* معنی داری در سطح ۹۹٪

NS: معنی دار نیست

- mixed Na/Ca solutions on swelling, dispersion and Transient water flow in unsaturated montmorillonitic soils. *Geoderma*. 52: 17-28.
- Mosaddeghi, M.R., Khatar, M., Dexter, A.R. and Mahboubi, A.A. 1386. Water characteristic curve and physical quality of soil as influenced by water salinity and sodicity. 2nd International salinity Forum. Salinity, water and salinity-global issues, local action.
- Sillers, W.S., Fredland, D.G. and Zakerzadeh, N. 2001. Mathematical attributes of some soil-water characteristic curve models. *Geoderma. Geol. Eng.* 19: 243-283.
- So, H.B. and Aylmore, A.G. 1993. How do sodic soils behave? The effects of sodicity on soil physical behavior. *Aust. J. Soil Res.* 31: 761-771.
- van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.
- 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.
- Dexter, A.R. 2004b. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma*. 120: 215-225.
- Dexter, A.R. 2004c. Soil physical quality. Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma*. 120: 227-239.
- Keren, R. and Singer, M.J. 1988. Effect of low electrolyte concentration on hydraulic conductivity of sodium/calcium-montmorillonite-sand system. *Soil Sci.* 52: 368-373.
- Lagerwerff, J., V. Nakayama, F.S. and H.M. Frere. 1969. Hydraulic conductivity related to porosity and swelling of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 3-12.
- Malik, M., Mustafa, M.A. and Letey, J. 1992. Effect of

Evaluation of Saline and Sodic Water Effect on Soil Moisture Characteristic Curve and Soil physical Quality Index

S.Khazaei¹, H.Ansari², B. ghahraman^{3*}

Received: May.29,2013 Accepted: Feb.26,2014

Abstract

Despite the growing demand of food and scarcity of fresh water sources, evaluating effect of using saline and sodic water on soil properties is essential. The purpose of this research is evaluation of saline and sodic water effect on soil moisture characteristic curve and soil physical quality index (S). three soil types loamy, clay and sandy, three levels of SAR 5, 10 and 20, three levels of EC 4, 8, and 12 dS/m and distilled water were used. NaCl, CaCl₂ and MgCl₂ salts at Ca:Mg=2:1 were used to prepare treatments. Soil samples moisture measured by pressure plate at 3 duplicate and at 8 suctions. Van Genuchten-Mualem parameters determined by RETC and then by using them, S index was calculated, too. Results showed at a fixed SAR and suction, with decreasing salinity, moisture content increased and this increase was more at larger suctions. Effect of salinity and sodicity for loamy and clay soils was more than sandy soil. S index with increasing SAR and decreasing salinity, decreased that seems sodium caused destruction of soil structure. Statistic analysis showed that salinity and sodicity have very significant effect ($P < 0.01$) on Van Genuchten parameters and S index. Therefore water quality affects on shape of soil moisture curve and S index.

Key words: S index, soil moisture, Van Genuchten- Mualem equation

1- Master Science Graduated in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Agriculture College, Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate professor in Department of Water Engineering, Agriculture College Ferdowsi University of Mashhad

3- professor in Department of Water Engineering, Agriculture College Ferdowsi, University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: bijangh@um.ac.ir)