

## ارزیابی دقت دستگاه انعکاس سنجی حوزه زمانی در خاک‌های رسی و شنی شور

معصومه فراستی<sup>1,2\*</sup>، مهسا رحمانی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 93/04/06 تاریخ پذیرش: 94/11/12

<sup>1</sup> استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

<sup>2</sup> استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد

<sup>3</sup> دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی، مشهد

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [Farasati2760@gmail.com](mailto:Farasati2760@gmail.com)

### چکیده

اندازه‌گیری مقدار دقیق رطوبت خاک در علوم کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. لذا استفاده از روشی که بتوان رطوبت را بدون دست‌خوردگی با سرعت و دقت بالا به دست آورد، دارای اهمیت است. در سال‌های اخیر استفاده از دستگاه انعکاس‌سنج حوزه زمانی (TDR) که می‌تواند رطوبت و هدایت الکتریکی خاک را در مدت کوتاهی اندازه‌گیری نماید متداول شده است. هدف این تحقیق بررسی صحت داده‌های برداشت شده با دستگاه TDR در شرایط آزمایشگاهی بر روی خاک با دو بافت رسی و شنی در گلدان‌هایی از جنس پی‌وی‌سی به ارتفاع 30 و قطر 27 سانتی‌متر بود. جهت بررسی اثر شوری، آزمایش‌ها در چهار سطح شوری 2، 6، 12 و 18 دسی‌زیمنس بر متر انجام گرفت و در نهایت اثر متقابل پارامترهای شوری و بافت خاک بررسی گردید. نتایج نشان داد که با سنگین شدن بافت خاک، به دلیل تأثیر آب پیوندی و کاهش زمان تأخیر، مقدار ضریب دی‌الکتریک خاک و رطوبت حجمی آن کم‌تر برآورد شد. همچنین با افزایش شوری خاک، ضریب دی‌الکتریک خاک نیز افزایش یافته و در نتیجه رطوبت بیش از مقدار واقعی نشان داده شد. نتایج اثر متقابل شوری و بافت نشان داد که در شوری‌های زیاد (12 و 18 دسی‌زیمنس بر متر) مقدار رطوبت تعیین شده توسط دستگاه کم‌تر از مقدار بدست آمده از روش حجمی است. در صورتیکه در شوری‌های کم‌تر (2 و 6 دسی‌زیمنس بر متر) برعکس که نشان می‌دهد در شوری زیاد اثر رس در کاهش مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده دستگاه بیش‌تر است اما در شوری‌های کم مقدار هدایت الکتریکی باعث بیش‌تر برآورد کردن مقادیر رطوبت شده است.

واژه‌های کلیدی: انعکاس‌سنج حوزه زمانی، ثابت دی‌الکتریک، رس، رطوبت حجمی، شوری

## Evaluation of Time Domain Reflectometry Device in Saline Clay and Sandy Soils

M Farasati<sup>1, 2\*</sup>, M Rahmani<sup>3</sup>

Received: 27 June 2014 Accepted: 1 February 2016

<sup>1</sup> Assist. Prof., Faculty of Agricultur, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>2</sup> Assist. Prof., Faculty of Agricultur, Gonbad-e Kavous University, Gonbad, Iran

<sup>3</sup> Ph.D. student, Ferdosi University, Mashhad, Iran

\*Corresponding Author, Email: [Farasati2760@gmail.com](mailto:Farasati2760@gmail.com)

### Abstract

Measuring the precision quantity of soil moisture in agricultural science is very important. Therefore, it is important to have accurate and fast measurement of soil water content, especially to achieve soil characteristics by a non-invasiveness way. In recent years, application of time domain reflectometry (TDR) as a well-known for measuring soil water and electrical conductivity in short time has been common. The objective of this study was to evaluate the accuracy of the TDR probe under laboratory conditions in clay and sandy soils at four soil salinity levels of 2, 6, 12 and 18 dS m<sup>-1</sup> which were packed in a PVC cylinder with 27 cm in diameter and 300 cm in length. The TDR underestimated dielectric coefficient and volumetric moisture in heavy soil due to the effect of bound water in heavy soil which reduced the time delay. Also soil dielectric coefficient increased with increasing soil salinity, resulting in overestimation of the soil moisture. The result of soil salinity and texture interaction showed that under high soil salinity levels (12 and 18 dS m<sup>-1</sup>) the estimated moisture by the device was less than the volumetric method, whereas under low soil salinity it was vice versa. This indicated that in high salinity level, the effect of clay caused the low estimation of soil water content but in the low soil salinity level, electric conductivity would lead to over estimating moisture content.

**Keywords:** Clay, Dielectric Constant, Salinity, Time domain reflectometry, Volumetric moisture

### مقدمه

(هنگ و همکاران 2004). روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک وجود دارد، روش مستقیم شامل: اندازه‌گیری ثقلی رطوبت که روشی بسیار دقیق است اما وقت‌گیر می‌باشد و روش‌های غیر مستقیم اندازه‌گیری رطوبت خاک شامل: بلوک‌گچی، تتاپروب، اشعه گاما، نوترون‌متر، تانسومتر و روش‌های انعکاس-سنجی می‌باشند که یکی از مهم‌ترین این روش‌ها انعکاس سنجی حوزه زمانی می‌باشد (کوش و همکاران 2005). در سال‌های اخیر استفاده از دستگاه TDR<sup>1</sup> برای اندازه‌گیری رطوبت و شوری خاک متداول شده است (سالاری

همه خصوصیات خاک مانند پایداری، ظرفیت تراکم‌پذیری، نفوذپذیری و قابلیت انتقال تابعی از آب موجود در آن است (سارانی و افراسیاب 2012). بررسی رطوبت و قوانین حاکم بر این که رطوبت خاک چه مقدار بوده و چه درصدی از آن برای گیاه قابل استفاده می‌باشد، از موضوعات مهم رابطه آب و خاک است. تشخیص دقیق رطوبت خاک و اندازه‌گیری آن بخشی از مدیریت مصرف آب در مزرعه است که نادیده پنداشتن آن سبب زیان‌های اقتصادی و زیست‌محیطی می‌شود

<sup>1</sup> . Time domain reflectometry

در خاک گردیده در نتیجه باعث طولانی شدن زمان برگشت امواج و باعث خطا در اندازه‌گیری مقدار رطوبت حجمی می‌شود. محققان (هوک و لیوینگستون 1996، سان و همکاران 2000، بامهارت و همکاران 2000) به این نتیجه رسیدند که شوری زیاد، ثابت دی‌الکتریک خاک را افزایش می‌دهد و منجر به تخمین زیادتر مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده می‌شود. با توجه به گزارش‌های به‌دست آمده میزان شوری خاک منجر به تخمین زیاد در محتوای رطوبتی خاک نیز می‌شود (رودز و همکاران 1989). در رطوبت کم جزء حجمی آب پیوندی به آب آزاد بیشتر و مقدار شوری کل خاک کم می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر پارامترهای مهم از جمله شوری، رس و اثر متقابل آن‌ها بر میزان رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده با دستگاه TDR می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی در آزمایشگاه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی روی دو کلاس بافتی شنی و رسی به صورت دست‌خورده داخل گلدان‌هایی از جنس پی‌وی‌سی به ارتفاع 30 و قطر 27 سانتی‌متر در سه تکرار انجام شد. قبل از شروع آزمایش کل خاک‌ها با آب مقطر چندین مرتبه شستشوداده شد تا شوری آن از بین برود، گرچه خاک شنی شوری نداشت. با اضافه کردن محلول شور با EC های مختلف به خاک، خاک شور با شوری مشخص به‌دست آمد. جهت درست کردن محلول‌ها با شوری 2، 6، 12 و 18 دسی‌زیمنس بر متر، از نمک کلرید سدیم (NaCl) و کلرید کلسیم (CaCl<sub>2</sub>) به ترتیب با نسبت‌های دو بر یک و رابطه (1) با آب شرب استفاده شد.

$$TDS = 640 \cdot EC \quad [1]$$

که در آن: TDS برابر مقدار باقیمانده خشک بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و EC مقدار هدایت الکتریکی آب در شوری مورد نظر می‌باشد. پس از تهیه محلول‌های با شوری مشخص، نمونه‌ها از پایین اشباع شدند. بعد از

و سلطانی محمدی 1384). رطوبت یک محیط متخلخل را می‌توان به‌وسیله دستگاه TDR با استفاده از پالس موج برگشتی در حساسه نصب شده در آن محیط اندازه‌گیری نمود. از آن‌جا که انعکاس موج برگشتی تحت تأثیر محیط و سیستم اندازه‌گیری می‌باشند به کارگیری روش ساده و کاربردی می‌تواند کمک مؤثری در دستیابی به نتایج مورد نیاز و کاهش هزینه‌ها در برداشته باشد. لذا استفاده از روشی که بتوان رطوبت خاک را در شرایط طبیعی و بدون دست‌خوردگی با سرعت و دقت بالا به‌دست آورد، بسیار بااهمیت و کاربردی می‌باشد (نامدار خجسته و همکاران 1390). عامل مهم در اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک با TDR اثر آب پیوندی در سطح ذرات رس و میزان هدایت الکتریکی خاک می‌باشد. واژه آب پیوندی دلالت بر چرخش مولکول‌های آب نزدیک سطوح جامد یا سطح ذرات خاک دارد و دارای خصوصیات متفاوت از آب آزاد است، آب پیوندی سبب کاهش زمان امواج برگشتی در خاک شده که در نتیجه این عمل باعث کاهش میزان ثابت دی‌الکتریک خاک در مقایسه با آب آزاد می‌شود. رس به‌دلیل سطح ویژه زیاد، دارای مقدار زیادی آب پیوندی می‌باشد (جاکوبسن و شونینگ 1993). روث و همکاران (1990) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که مقدار رس زیاد منجر به سطح ویژه زیاد خاک شده و به‌خاطر وجود لایه‌های آب در اطراف ذرات خاک باعث آزادی کمتر مولکول‌های آب در اطراف ذرات خاک می‌شود. در نتیجه ثابت دی‌الکتریک آب خاک در اطراف ذرات نسبت به آب آزاد کمتر شده و در یک مقدار مشخص رطوبت خاک ضریب دی‌الکتریک برای خاک‌های با بافت سنگین، کمتر از ضریب دی‌الکتریک در خاک‌های با بافت سبک است. پومپانن و وسنیمی (2005) در تحقیقات خود دریافتند که اساس اندازه‌گیری‌های TDR ثابت دی‌الکتریک ظاهری خاک است که با رطوبت حجمی خاک تغییر می‌کند. تاپ و همکاران (1980 و 2000) به وجود اختلاف معنی‌دار بین مدل خودشان (که یک فرمول تجربی است) و روش وزنی، اذعان کرده‌اند که علت آن را سطح ویژه مخصوص و نوع کانی رس دانسته‌اند. شوری کل خاک، باعث پراکنده‌شدن سیگنال منعکس شده

گذشت زمان 24 ساعت از اشباع شدن، اندازه‌گیری رطوبت به روش حجمی و با استفاده از دستگاه TDR انجام شد. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

بافت خاک به روش هیدرومتری، چگالی ظاهری به روش سیلندر و هدایت الکتریکی آب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد (سالاری 1385) که نتایج آن در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آزمایش.

عامل	خاک رسی	خاک شنی
درصد رس	47/44	3/44
درصد سیلت	32	8
درصد شن	20/56	88/56
جرم مخصوص ظاهری ( $\text{gr cm}^{-3}$ )	1/1	1/45
بافت خاک	رسی	شنی

#### تعیین نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی

برای تعیین نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی از ترسیم منحنی مشخصه به وسیله دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. رطوبت در ظرفیت زراعی در مکش 0/3 بار و برای پژمردگی دائم در مکش 15 بار می باشد. جهت آماده‌سازی دستگاه ابتدا صفحات آن اشباع گردید، سپس از هر بافت خاک، نمونه‌هایی با حلقه‌های فلزی که اشباع بودند روی صفحات متخلخل سرامیکی در مکش‌های 0/3، 1، 3، 5، 10 و 15 بار قرار داده شد و پس از محکم نمودن درب محفظه فشاری مکش‌های مختلف بر نمونه‌ها اعمال گردید، بعد از مطمئن شدن از عدم خروج آب از زهکش دستگاه، نمونه‌ها را از دستگاه صفحات فشاری بیرون آورده و پس از توزین در آون قرار داده شدند، در نهایت بعد از خشک شدن، درصد رطوبت خاک محاسبه گردید و نمودار منحنی مشخصه خاک‌ها رسم شد. با توجه به منحنی مشخصه رطوبتی مقادیر رطوبت در مکش‌های مختلف به دست آمد.

#### اندازه‌گیری رطوبت به روش حجمی

روش وزنی عبارتست از خشک کردن نمونه مرطوب در آون در دمای 110-105 درجه سلسیوس،

تا زمانی که در اثر خشک شدن تغییری در وزن مشاهده نشود. تفاوت بین جرم اولیه ( $m_i$ ) و جرم ثانویه ( $m_f$ ) طبق رابطه 2 مقدار رطوبت خاک را به دست می‌دهد (سالاری 1384).

$$q_m = \frac{m_i - m_f}{m_f} \cdot 100 \quad [2]$$

با داشتن وزن مخصوص ظاهری ( $\rho_b$ ) و رطوبت وزنی ( $q_m$ ) می‌توان رطوبت حجمی را طبق رابطه 3 محاسبه نمود.

$$q_v = r_b \cdot q_m \quad [3]$$

#### اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک با دستگاه TDR

ثابت دی‌الکتریک با استفاده از دستگاه TDR نوع تریس<sup>2</sup> (مدل 6050 X1 ساخت شرکت Soil Moisture) توسط میله‌های موج بر به طول 15 سانتی‌متر و قطر 6/35 سانتی‌متر که به فاصله 1/5 سانتی‌متر در داخل ستون-های خاک قرار داده شده بودند اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری 24 ساعت بعد از قرارگیری میله‌های موج بر در داخل خاک برای برطرف کردن گرادیان رطوبت در اطراف میله‌ها انجام شد. دمای آزمایشگاه در طول اندازه‌گیری‌ها حدود  $20 \pm 2$  درجه سلسیوس بود. اندازه‌گیری

<sup>2</sup>.Trace

دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. برای مقایسه، رطوبت وزنی اندازه‌گیری شده به روش توزین به رطوبت حجمی از طریق رابطه 3 تبدیل گردید و نتایج آن با رطوبت های حجمی اندازه گیری شده توسط دستگاه TDR مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. همچنین برای بررسی دقت مقادیر رطوبتی اندازه‌گیری شده از آماره RMSE که توسط رابطه 4 محاسبه می‌شود، استفاده شد. هر چه مقدار RMSE کم‌تر باشد دقت اندازه‌گیری داده‌ها بیشتر است.

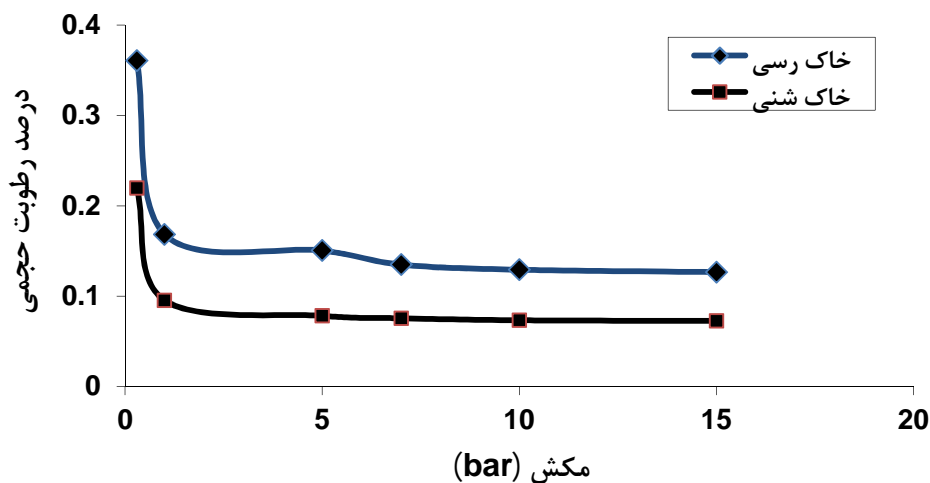
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_v - q_{TDR})^2}{n}} \quad [4]$$

که در آن: RMSE: ریشه متوسط مربعات خطا،  $q_v$ : رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده و  $q_{TDR}$ : رطوبت حجمی به‌دست آمده از روش TDR،  $i$  و  $n$ : بیان‌گر شماره رطوبت و تعداد کل نمونه‌ها می‌باشند.

ثابت دی‌الکتریک 24 ساعت بعد از قرارگیری در داخل خاک برای برطرف کردن گرادیان مقدار رطوبت در اطراف حساسه انجام شد. با استفاده از فرمول های بین ثابت دی الکتريک و زطوبت حجمی موجود در دستگاه TDR، رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شد. دمای آزمایشگاه در طول اندازه‌گیری‌ها حدود  $20 \pm 2$  درجه سلیسیوس بود. برای هر ستون خاک اندازه‌گیری رطوبت در سه تکرار انجام پذیرفت و سپس از مقادیر تکرارها میانگین‌گیری شد.

#### روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

برای دستیابی به اطلاعات لازم جهت تحقق اهداف طراحی شده و دستیابی به پاسخ مناسب برای سوالات تحقیق، عملیات آزمایشگاهی در سه تکرار و در تیمارهای مختلف از شن و رس و در شوری‌های 2، 6، 12 و 18



شکل 1- منحنی مشخصه رطوبتی دو نوع خاک مورد آزمایش.

اس دی با سطح احتمالی 5 درصد به‌منظور تعیین همگن بودن اختلاف بین تیمارها انجام شد.

#### نتایج و بحث

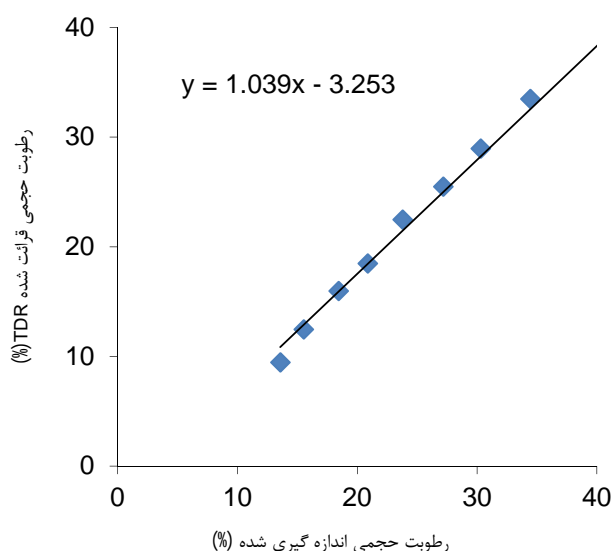
شکل 1 منحنی مشخصه رطوبتی خاک‌ها را نشان می‌دهد.

برای مقایسه بین تیمارها در هر بافت و تعیین معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارها، در قالب طرح کاملاً تصادفی و برای مقایسه بین بافت‌ها جهت تعیین معنی دار بودن اختلاف مقدار رس، تجزیه و تحلیل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی و تجزیه واریانس از طریق آزمون ANOVA صورت گرفت. همچنین آزمون اف-ال

### واسنجی دستگاه در خاک رسی

با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد مشخص گردید که در تمام تیمارهای خاک رس بین مقادیر رطوبتی دو روش حجمی و TDR تفاوت معنی دار وجود دارد. نتایج تأثیر بافت رسی بر دقت دستگاه TDR در تکرارهای مختلف نشان داد که در مقایسه با رطوبت محاسبه شده توسط روش حجمی، دستگاه TDR حدود 9 درصد مقدار رطوبت را کم تر از رطوبت حجمی برآورد کرده است (شکل 2). همچنین با برآزش خطوط رگرسیونی برای خاک رس، طبق شکل 2

معادلات کالیبراسیونی با ضریب همبستگی 0/99 و RMSE برابر 2/37 محاسبه شد که این مقادیر نشان دهنده همبستگی و دقت بالا بین مقادیر رطوبتی روش حجمی و رطوبت قرائت شده به وسیله دستگاه TDR است. جهت بالابردن میزان اطمینان به همبستگی بالای بین مقادیر رطوبتی اندازه گیری شده توسط TDR و روش وزنی و افزایش درجه اعتماد به مقادیر اندازه گیری شده توسط TDR، بررسی تفاوت رطوبت های اندازه گیری شده توسط این دو روش از آزمون LSD و در سطح احتمال 5 درصد نیز استفاده شد.



شکل 2- رابطه بین رطوبت حجمی مستقیم و رطوبت اندازه گیری شده با TDR در بافت رسی.

جدول 2- نتایج مقایسه رطوبت حجمی برآورد شده ( $\Theta_v$ ) و دستگاه TDR ( $\Theta_{TDR}$ ) با شوری در بافت سبک.

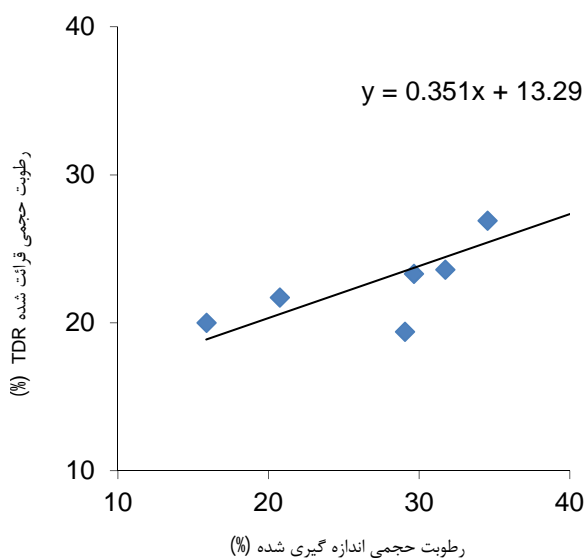
تیمار	RMSE	$R^2$
شوری 2	4/3	0/92
شوری 6	10/3	0/66
شوری 12	9/1	0/86
شوری 18	12/3	0/76

سطوح شوری بین مقادیر رطوبتی دو روش حجمی و TDR تفاوت معنی دار وجود دارد. نتایج آزمایش ها نشان

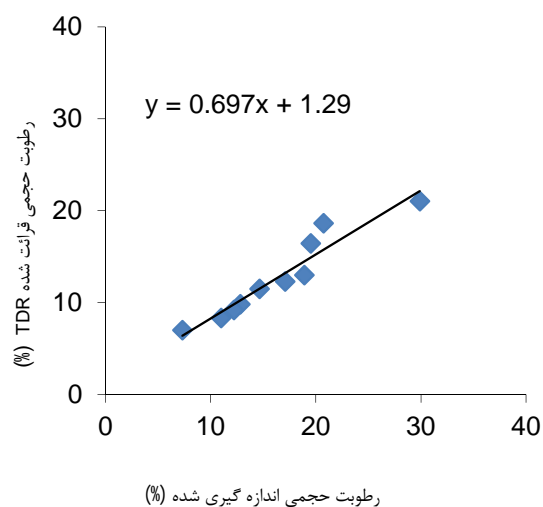
تأثیر میزان شوری در اندازه گیری رطوبت خاک با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد مشخص گردید که در تیمارهای خاک شنی با انواع

شده و باعث افزایش مقدار ثابت‌دی‌الکتریک خاک گردیده و منجر به تخمین زیاده‌تر مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده با دستگاه TDR شده است. به طور کلی خاک‌های شور تأثیر زیادی بر روی زمان برگشت امواج و فرکانس‌ها دارند، به همین دلیل انعکاس سنجی زمانی به طور سیستماتیک مقدار رطوبت خاک را بیش از حد نشان داده است. در تحقیقی رودز و همکاران (1989) اظهار نمودند که میزان شوری خاک منجر به تخمین زیاد در محتوای رطوبتی خاک شده است زیرا در رطوبت کم جزء حجمی آب پیوندی به آب آزاد بیشتر و تأثیر شوری کل خاک در این محدوده رطوبت کم می‌باشد ولی شوری زیاد، ثابت دی‌الکتریک خاک را افزایش داده و منجر به تخمین زیاده‌تر مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده که با نتایج به دست آمده از این تحقیق هم‌خوانی داشته است.

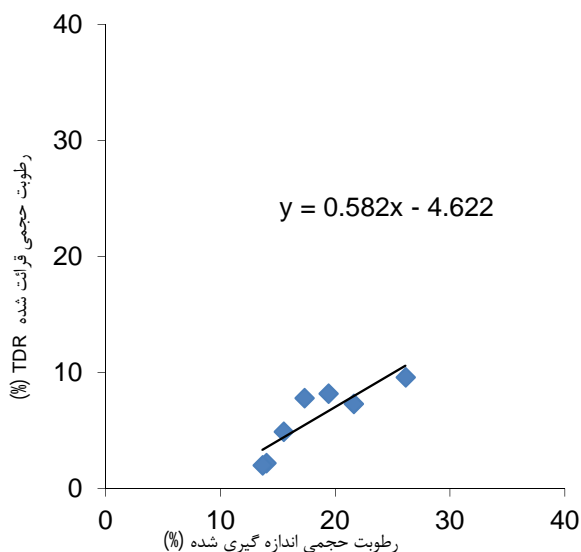
داد که در بافت شنی با شوری‌های 2، 12، 18 و 6 دسی-زیمنس بر متر به ترتیب به مقدار، 40/8، 36/2، 29/9 و 17 درصد مقادیر اندازه‌گیری شده دستگاه TDR بیش‌تر از رطوبت اندازه‌گیری شده به‌روش حجمی است که بیش-ترین میزان اختلاف در قرائت دو روش در بافت شنی با شوری 12 دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید. نتایج برازش خطوط رگرسیونی برای شوری‌های مختلف، طبق جدول 2 و شکل‌های 3 تا 6 معادلات و اسنجی، ضریب همبستگی و RMSE ارائه شده است که این مقادیر نشان-دهنده همبستگی و دقت بالا بین مقادیر رطوبتی روش حجمی و دستگاه TDR است. در تیمار با شوری 2 دسی-زیمنس بر متر دقت اندازه‌گیری داده‌ها بیشتر است. در واقع شوری سبب پراکنده شدن سیگنال منعکس شده در خاک گردیده، در نتیجه زمان برگشت امواج طولانی‌تر



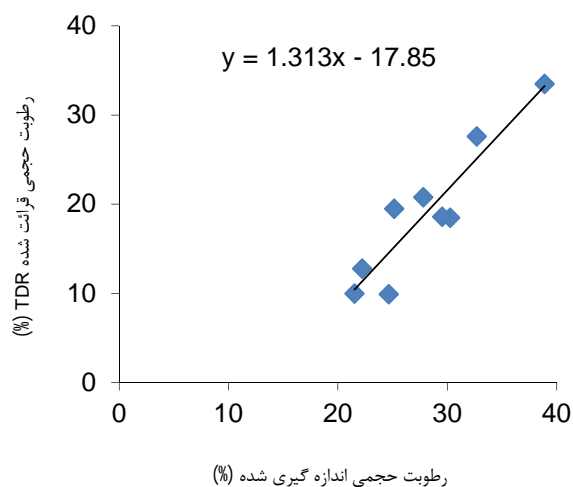
شکل 4- رابطه بین رطوبت حجمی مستقیم و رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR در بافت شنی-شوری 6 دسی-زیمنس بر متر.



شکل 3- رابطه بین رطوبت حجمی مستقیم و رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR در بافت شنی-شوری 2 دسی-زیمنس بر متر.



شکل 6- رابطه بین رطوبت حجمی مستقیم و رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR در بافت شن-شوری 18 دسی-زیمنس بر متر.



شکل 5- رابطه بین رطوبت حجمی مستقیم و رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR در بافت شن-شوری 12 دسی-زیمنس بر متر.

مشهودتر است. نتایج برآزش خطوط رگرسیونی برای تیمارهای رس با شوری‌های مختلف، طبق جدول 3 و شکل‌های 7 تا 10، معادلات کالیبراسیونی، ضریب همبستگی و RMSE ارائه شده است که این مقادیر نشان‌دهنده همبستگی و دقت بالا بین مقادیر رطوبتی روش حجمی و دستگاه TDR است. در این آزمایش تیمار رس- شوری 18 دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین دقت را در تعیین رطوبت داشته است و همبستگی بین داده‌های دو روش از بقیه تیمارها بیشتر است. نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقات جاکوبسن و همکاران (1993)، هیل هورست و همکاران (2001)، گانگ و همکاران (2003) مطابقت داشته است.

با توجه به این‌که در کاتالوگ دستگاه، مقدار خطا  $\pm 2$  درصد ذکر شده است، بنابراین به دلیل زیاد بودن تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و همچنین بالا بودن مقادیر RMSE، معادلات کالیبراسیونی برای تعیین دقیق رطوبت لازم است.

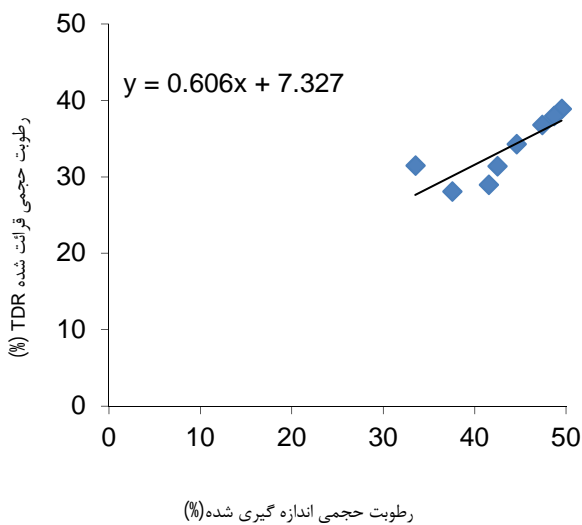
#### تأثیر متقابل میزان رس و شوری در اندازه‌گیری رطوبت خاک

با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد مشخص گردید که در تمام تیمارهای خاک رس با سطوح مختلف شوری بین مقادیر رطوبتی دو روش حجمی و TDR تفاوت معنی‌دار وجود دارد. نتایج اثر متقابل تیمارهای رس- شوری نشان داد که در تیمار-های بافت رسی با شوری 18 و 12 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب 4/2 و 16/8 درصد دستگاه مقدار رطوبت را کم‌تر برآورد کرده است اما در تیمارهای بافت رسی با شوری 2 و 6 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب 14/5 و 25/9 درصد دستگاه TDR مقدار رطوبت را بیش‌تر از رطوبت حجمی برآورد کرده است. در مورد تیمارهای اخیر بافت سنگین رسی و هدایت الکتریکی خاک به عنوان فاکتوری مثبت عمل نموده‌اند و باعث افزایش مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه شده‌اند اما در شوری‌های بالا اثر بافت خاک در جهت کاهش مقادیر اندازه‌گیری شده

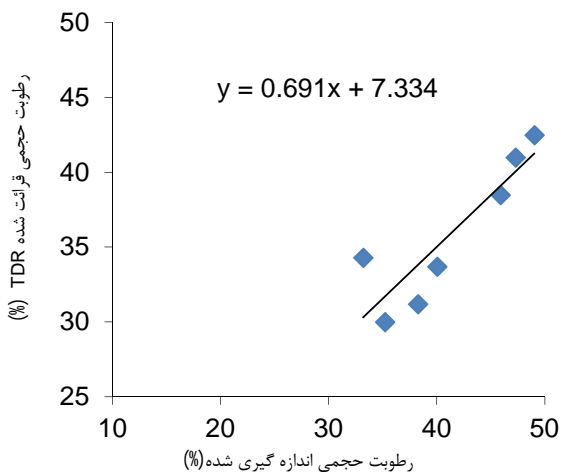


جدول 3- نتایج مقایسه رطوبت حجمی برآورد شده ( $\Theta_v$ ) و دستگاه TDR ( $\Theta_{TDR}$ ) با شوری در بافت سنگین.

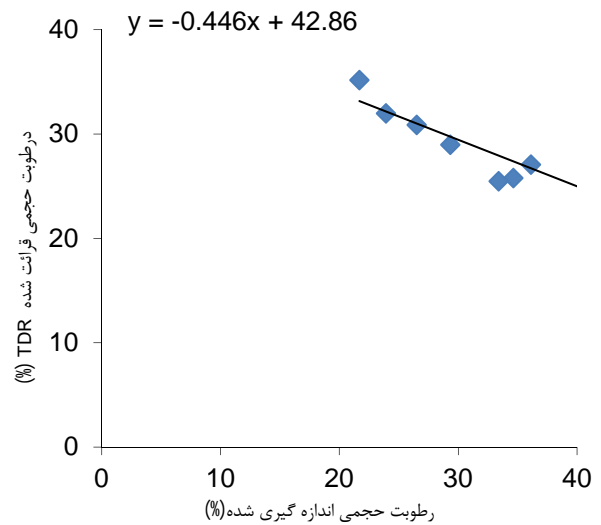
R <sup>2</sup>	RMSE	تیمار
0/73	10/1	رس - شوری 2
0/68	9/8	رس - شوری 6
0/74	11/5	رس - شوری 12
0/79	8/5	رس - شوری 18



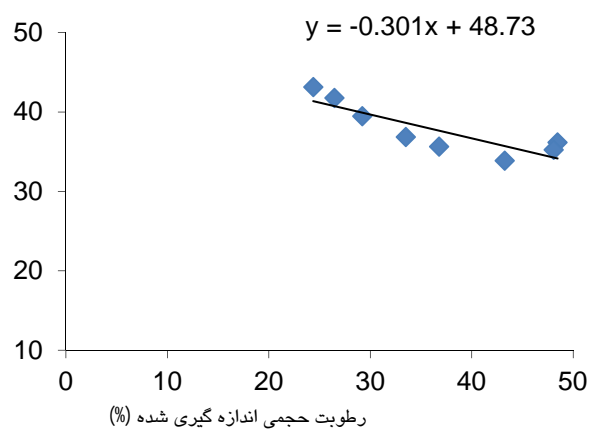
شکل 8- رابطه بین رطوبت حجمی و رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR در بافت رسی با شوری 6 دسی‌زیمنس بر متر.



شکل 10- رابطه بین رطوبت حجمی و رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR در بافت رسی با شوری 18 دسی‌زیمنس بر متر.



شکل 7- رابطه بین رطوبت حجمی و رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR در بافت رسی با شوری 2 دسی‌زیمنس بر متر.



شکل 9- رابطه بین رطوبت حجمی و رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR در بافت رسی با شوری 12 دسی‌زیمنس بر متر.

بیشتر از روش حجمی برآورد شده است و نشان‌دهنده این است که در شوری‌های زیاد اثر رس در کاهش مقادیر اندازه‌گیری شده بیشتر است و اثر کاهشی در قرائت‌های دستگاه TDR داشته است، اما در شوری‌های کم مقدار هدایت الکتریکی باعث بیشتر برآورد کردن مقادیر دستگاه TDR بوده است.

سپاسگزاری: بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه رازی که هزینه‌های این طرح را تأمین نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

**نتیجه‌گیری کلی:** با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده شد که میزان ثابت دی‌الکتریک در خاک رسی نسبت به خاک شنی کاهش یافته است. شوری بالای خاک نیز تأثیر زیادی در میزان ثابت دی‌الکتریک داشت به طوری که با افزایش شوری، ضریب دی‌الکتریک خاک افزایش یافت. نتایج اثر متقابل شوری و رس در این تحقیق نشان داد که در شوری‌های زیاد (12 و 18 دسی‌زیمنس بر متر) مقدار رطوبت کم‌تر از روش حجمی و در شوری‌های کم-تر (2 و 6 دسی‌زیمنس بر متر) مقدار رطوبت دستگاه

### منابع مورد استفاده

- سالاری ا، 1384. بررسی اثر شوری بر واسنجی دستگاه TDR در مکش‌های مختلف خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- سلطانی محمدی ا، 1384. تأثیر بافت خاک روی کالیبراسیون TDR برای اندازه‌گیری رطوبت در شرایط خاک‌های خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- نامدارخجسته د، شرفا م، اسکندری ذ و فاضلی سنگانی م، 1390. تأثیر میزان رس و شوری خاک در رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده با انعکاس سنج زمانی. مجله پژوهش‌های خاک، جلد 25، شماره 2، صفحه‌های 103 تا 112.
- Baumhardt RL, Lascano RJ and Evett SR, 2000. Soil material, temperature, and salinity effects on calibration of multisensor capacitance probes. *Soil Science Society of America* 64:1940-1946.
- Cosh MH, Thomas J, Bindlish R, Famiglietti JS, Ryu D, 2005. Calibration of an impedance probe for estimation of surface soil water content over large regions. *Journal of Hydrology* 311: 49-58.
- Gong YQ, sun Z, 2003. The effects of soil bulk density, clay content and temperature on soil water content measurement using time-domain reflectometry. *Hydrological Processes* 17: 3601-3614.
- Hilhorst MA, Dirksen C, Kampers FW and Feddes RA, 2001. Dielectric relaxation of bound water versus soil matric pressure. *Soil Science Society of America Journal* 65: 311-314.
- Hook WR and Livingston NJ, 1996. Errors in converting time domain reflectometry measurements of propagation velocity to estimates of soil water content. *Soil Science Society of America Journal* 60: 35-41.
- Huang Q, Akinremi OO, Sri Rajan R and Bullock P, 2004. Laboratory and field evaluation of five soil water sensors. *Canadian Journal of Soil Science* 84: 431-438.
- Jacobsen OH, Schjonning P, 1993. A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. *Journal of Hydrology* 151: 147-157.
- Pumpanen L and vesniemi H, 2005. Calibration of time domain reflectometry for forest soil humus layers. *Boreal Environment Resource Journal* 10: 589-595.
- Rhoades JD, Manteghi NA, Shouse PJ and Alves WJ, 1989. Soil electrical conductivity and salinity: new formulations and calibrations. *Soil Science Society of America Journal* 53: 433-439.
- Roth K, Schulin R, Fluhler H and Attinger W, 1990. Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach. *Water Resource Research* 26:2267-2273.
- Sarani N, Afrasiab P, 2012. Effect of soil texture on moisture measurement accuracy with Theta probe ML2 in Sistan region. *International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICEES'2012) march 17-18, 2012 Bangkok.*
- Sun ZJ, Young GD, McFarlane R and Chambers BM, 2000. The effect of soil electrical conductivity on moisture determination using time domain- reflectometry in sandy soil. *Canadian Journal of Soil Science* 80: 1: 13-22.
- Topp GC, Davis JL and Annan AP, 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* 16: 574-582.
- Topp GC, Zeglin S and White I, 2000. Impacts of real and imaginary components of relative permittivity on time domain reflectometry measurements in soil. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1244-1252.