

محور مقاله: فناوری‌های نوین در علوم خاک

مقایسه روش TDR و مقاومت الکتریکی در تخمین رطوبت خاک در سه سطح شوری

فائزه محمدعلی‌زاده فخر^{۱*}، محمدرضا نیشابوری^۲، داود زارع حقی^۳، محمدصادق ذاکر حمیدی^۴
^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
^۲ استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
^۳ استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
^۴ دانشیار پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی، دانشگاه تبریز

چکیده

اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش مستقیم (نمونه‌برداری و توزین) تخریبی و زمان‌بر است. دستگاه TDR و حسگرهای مقاومتی از روش‌های غیرمستقیم هستند که مقدار رطوبت را سریع و غیرتخریبی تخمین می‌زنند. هدف از این تحقیق مقایسه روش TDR و مقاومت الکتریکی در تخمین رطوبت خاک در سه سطح شوری (۱/۸۹، ۶/۱ و ۱۳/۱) بود. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در یک خاک لوم شنی انجام شد. تیمارها شامل روش‌های اندازه‌گیری رطوبت (TDR، مقاومت الکتریکی و مستقیم) بود. هر حسگر متشکل از یک جفت الکترود و یک عایق بود. با قرائت مقاومت الکتریکی توده‌ای (R) و جاگذاری آن در معادلات واسنجی مقدار رطوبت به دست آمد. رطوبت حجمی خاک‌ها با TDR به‌طور مستقیم قرائت شد. تجزیه واریانس در سطوح رطوبتی و شوری ثابت انجام شد. نتایج نشان داد رطوبت‌های حجمی به دست آمده از چهار روش مختلف تفاوت معنی‌دار ندارند ($p < 0.05$). در شوری ۱۳/۱ ds/m بجز در رطوبت‌های پایین (۶ تا ۱۲ درصد) TDR خروجی نشان نداد. اما حسگرهای مقاومتی در تمام سطوح رطوبتی و شوری خروجی دادند. به‌طور متوسط خطای اندازه‌گیری با حسگرهای مقاومتی ($RMSE = 1/66$) کمتر از TDR ($RMSE = 2/56$) بود. با توجه به نتایج مذکور و هزینه ساخت، حسگرهای مقاومتی می‌توانند جایگزین قابل قبولی برای TDR در اندازه‌گیری رطوبت خاک باشند. کلمات کلیدی: رطوبت حجمی خاک، انعکاس سنج حوزه زمانی، ثابت دی‌الکتریک، مقاومت الکتریکی توده‌ای خاک، واسنجی حسگر.

مقدمه

تأمین نیاز غذایی بشر به‌خصوص با افزایش روزافزون جمعیت مستلزم بهبود عملکرد تولیدات کشاورزی و مدیریت صحیح آبیاری است. امروزه در کشورهای پیشرفته جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک سعی بر استفاده از روش‌های نوین اندازه‌گیری رطوبت برای افزایش راندمان آبیاری است. دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری θ روش مستقیم می‌باشد. وقت‌گیر بودن این روش باعث شده تا محققان فیزیکی خاک به روش‌های غیرمستقیم تعیین θ روی بیاورند (anonymous, 2008). روش غیرمستقیم متکی بر اندازه‌گیری یکی از خصوصیات فیزیکی خاک است که اساساً وابسته به θ بوده و به‌طور مستقیم و سریع قابل اندازه‌گیری است. از روش‌های غیرمستقیم می‌توان به روش‌های هسته‌ای (نوترون متر و تابش گاما) و حسگرهای رطوبتی (خازنی و هدایتی یا مقاومتی) اشاره کرد. روش‌های هسته‌ای دارای دقت بالایی در اندازه‌گیری θ هستند اما هزینه بالا، مضرات منبع رادیواکتیو و نیاز به واسنجی در محل، کاربرد این روش را محدودتر کرده است (Topp و همکاران، ۱۹۸۰). حسگرهای رطوبتی خاک از جمله ابزارهای متداولی هستند که بدون خطر تشعشع امواج اخیراً مورد توجه محققان قرار گرفته است.

ثابت دی‌الکتریک (ϵ) برای سه فاز آب، جامد و هوا در خاک به ترتیب حدود ۸۱، ۴ تا ۸ و ۱ است. بنابراین ϵ در یک خاک مرطوب اساساً وابسته به رطوبت خاک است (Topp و همکاران، ۱۹۸۰). یکی از روش‌های متداول برای اندازه‌گیری ϵ خاک انعکاس سنجی حوزه زمانی (TDR) است. سیستم‌های TDR با اندازه‌گیری مدت زمان انعکاس پالس ($\sim 150 ps$) از انتهای میله‌های موج بر دهن شده در خاک، مقدار ϵ را اندازه‌گیری و از روی آن رطوبت حجمی (θ_v) را تخمین می‌زنند. این تخمین بر اساس روابط واسنجی انجام می‌گیرد که عموماً معادلات رگرسیونی بین θ_v و زمان انعکاس پالس یا ϵ هستند (anonymous, 2008). ϵ تخمین زده شده به وسیله حسگرهای خازنی، نه تنها از مقدار آب خاک بلکه از خصوصیات دیگر مثل شوری و بافت خاک تأثیر می‌پذیرد. شوری خاک باعث پراکنده شدن سیگنال‌های منعکس شده در خاک شده و باعث طولانی شدن زمان رفت و برگشت موج الکترومغناطیس می‌شود. در نتیجه مقدار رطوبت بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود (Bogena و همکاران، ۲۰۰۷). حسگرهای خازنی در خاک‌های شنی دارای بیشترین میزان دقت بوده و با افزایش مقدار رس از دقت آنها کاسته می‌شود. وجود رس در خاک باعث می‌شود این حسگرها مقدار

* ایمیل نویسنده مسئول: fzalizade90@gmail.com

رطوبت را کمتر از مقدار واقعی تخمین بزنند (Raper و همکاران، ۲۰۱۵) که علت آن به حضور آب پیوندی در اطراف ذره رس نسبت داده می‌شود (Dasberg و Hopmans، ۱۹۹۲). فاز مایع موجود در خاک به دو زیر مجموعه آب آزاد و آب پیوندی تقسیم می‌شود. درجه قطبی شدن آب آزاد تحت یک میدان مغناطیسی خارجی بالاست و بنابراین ϵ آن بالاست (Gong و همکاران، ۲۰۰۳). آب پیوندی مولکول‌های آب نزدیک سطوح ذرات رس هستند که با نیروی بسیار زیاد به سطح ذره رس پیوند شده‌اند و قدرت تحرک آنها بسیار کمتر از آب آزاد است. حرکت مولکول‌های آب پیوندی در حضور میدان مغناطیسی خارجی بسیار محدود است. بنابراین میزان قطبیت آن نسبت به آب آزاد بسیار کم بوده و ϵ آن نیز بسیار کمتر از ϵ آب آزاد است (Dasberg و Hopmans، ۱۹۹۲). حساسیت حسگرهای خازنی به عوامل مذکور به فرکانس پالس ایجاد شده وابسته است. در حسگرهای نوع خازنی اگر فرکانس از حد آستانه ۱۰۰ مگاهرتز کمتر باشد، دقت اندازه‌گیری پایین می‌آید. حسگرهای TDR به علت فرکانس بالا (بیشتر از ۱ گیگاهرتز) از دقت بالایی برای تخمین رطوبت برخوردار هستند (Raper و همکاران، ۲۰۱۵).

در حسگرهای هدایتی، قابلیت هدایت الکتریکی توده‌ای (σ_b) یا R خاک بین دو الکترود و یا ماده‌ای که در تعادل رطوبتی با خاک اطراف حسگر است، اندازه‌گیری و سپس با استفاده از یک رابطه واسنجی شده به مقدار رطوبت یا پتانسیل آب تبدیل می‌شود. معادله واسنجی یا توسط شرکت سازنده حسگر ارائه می‌شود و یا به وسیله کاربر برای خاک مورد نظر انجام می‌شود. بلوک گچی و حسگرهای دانه متخلخل (GMS^1) از جمله حسگرهای هدایتی هستند. محدودیت کلی این حسگرها کوتاه بودن عمر مفید آن نسبت به حسگرهای خازنی، وابستگی مقدار هدایت یا مقاومت قرائت شده به غلظت یونی محلول خاک و عامل ساختاری (تخلخل کل، پیچ‌خوردگی منافذ و ساختمان) است. از این رو توصیه می‌شود از واسنجی دقیق برای تعیین رطوبت استفاده شود (Raper و همکاران، ۲۰۱۵).

σ_b در یک خاک مرطوب از طریق یون‌ها در سه مسیر موازی انجام می‌پذیرد: ۱- مسیر متشکل از آب و سطح فاز جامد خاک (توسط لایه دوگانه الکتریکی)، ۲- مسیر فاز مایع به صورت موازی با مسیر اول از طریق منافذی که اشباع از آب است و فقط قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک (σ_w) در آن دخالت دارد و ۳- مسیر متشکل از سطح ذرات خاک (σ_s) که به‌طور مستقیم و پیوسته در تماس با یکدیگر هستند و هیچ واسطه‌ای بین آنها وجود ندارد. قابلیت هدایت الکتریکی در این مسیر فقط به‌وسیله سطح ذرات جامد صورت می‌گیرد. سهم هر کدام از این سه مسیر در σ_b خاک بستگی به مقدار رطوبت، شوری و σ_s دارد. در خاکی که به‌قدر کافی مرطوب باشد σ_b در درجه اول از طریق منافذ درشت اشباع از آب مسیر دوم صورت می‌گیرد. هر چه رطوبت خاک به سمت صفر نزدیک شود، سهم σ_s از کل هدایت بیشتر می‌شود. اما به‌طور کلی σ_s کوچکتر از σ_w است، زیرا کاتیون‌های تبدالی در لایه دوگانه پخشی نسبت به محلول خاک تعداد و تحرک کمتری دارند (Nadler، ۲۰۰۵). در خاک‌های زراعی ساختمان خاک طوری نیست که خاکدانه‌ها یا ذرات خاک به حد کافی تماس مستقیم و بی‌واسطه داشته باشند. آزمایش‌های تجربی Rhoades و همکاران (۱۹۷۶) نیز نشان داد که سهم مسیر سوم در σ_b قابل صرف‌نظر است.

با توجه به مطالب ذکر شده روشن است که ارتباط تنگاتنگ بین مقدار رطوبت و σ_b یا ϵ خاک وجود دارد. روش هدایتی (مقاومتی) محدودیت‌های دو روش مستقیم و TDR را ندارد. اما در مقابل نیاز به واسنجی برای سطوح شوری و خاک‌های متفاوت از محدودیت‌های این روش است. هدف از این پژوهش مقایسه صحت دو روش TDR و مقاومتی با در نظر گرفتن مزایا و معایب هر کدام در تخمین رطوبت خاک در سه سطح شوری است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل انجام شد. برای اجرای آزمایش از خاک‌های زمین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در منطقه کرکج به صورت دست‌خورده نمونه‌برداری شد. پس از هواخشک کردن و کوبیدن کلوخه‌ها خاک از الک ۴ mm عبور داده شد. پس از اندازه‌گیری شوری عصاره گل اشباع (EC_e) بافت خاک به روش قرائت ۴ زمانه (Gee و Bauder، ۱۹۸۶) تعیین شد (جدول ۱). برای این تحقیق ۳ سطح شوری شامل ۱۰ dS/m و $5/5 \sim 2$ و $EC_e < 2$ و ۸ سطح رطوبتی از اشباع تا حدود هوا خشک (SP تا ۰/۲ SP) منظور شد. سطح شوری ۵/۵ و ۱۰ با افزودن نمک کلرید سدیم (NaCl) در خاک ایجاد شد. مقدار نمک لازم از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (anonymous، ۱۹۶۹).

$$TDS = 6/4 (EC_e - EC) \quad (1)$$

که در آن، TDS غلظت NaCl در عصاره گل اشباع خاک برحسب گرم در لیتر و EC_e و EC به ترتیب شوری مورد نظر و شوری اولیه خاک است.

$$m_{\text{solute}} = \frac{SP \times TDS}{1000} \quad (2)$$

¹ - Granular matrix sensor

در رابطه m_{solute} مقدار NaCl لازم برحسب g/kg و SP درصد اشباع رطوبتی خاک است. پس از تعیین مقدار آب لازم برای ایجاد رطوبت‌های معادل 0.2SP تا NaCl و وزن NaCl لازم برای هر سطح شوری، (با فرض اینکه جرم مخصوص آب برابر با ۱ است) محلول‌های NaCl تهیه شدند. رطوبت‌های مورد نیاز با افزودن تدریجی حجم معینی از آب مقطر و یا از محلول تهیه شده بر جرم معینی از خاک و همراه با بهم زدن ایجاد شد. خاک‌های آماده شده با رطوبت و شوری معین جداگانه در استوانه‌های PVC با قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر با جرم مخصوص ظاهری ثابت 1.3 g/cm^3 قرار گرفتند. برای جلوگیری از تبخیر و ثابت ماندن رطوبت، هر دو انتهای لوله‌ها با نایلون ضخیم پوشش داده شدند. رطوبت حجمی خاک هر گلدان با

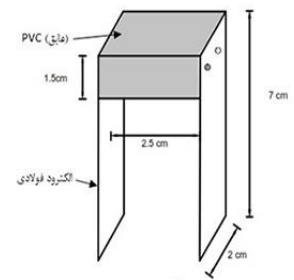
دستگاه TDR مدل Trace 6050X1 (شکل ۱-ب) و R با حسگرهای مقاومتی دست‌ساز دارای الکترودهای فولادی ضدزنگ (شکل ۱-الف) در دو فرکانس ۱ و ۱۰ کیلوهرتز، با دستگاه LCR متر مدل TH2810D (شکل ۱-ج) هم‌زمان اندازه‌گیری شد.



ج



ب



الف

شکل ۱: شمایی از حسگرهای مقاومتی دست‌ساز (الف)، اندازه‌گیری رطوبت به‌روش TDR (ب) و مقاومت الکتریکی توده‌ای (ج).

دمای خاک یکی از عوامل مؤثر بر R است. با افزایش دما تحرک یون‌های محلول خاک افزایش یافته و به‌دنبال آن R خاک کاهش می‌یابد (Corwin و Lesch, ۲۰۰۵). در این راستا از روابط زیر برای تصحیح مقاومت‌های قرائت شده در هر دما (R_T) به دمای ۲۵ درجه سلسیوس (R_{25}) استفاده شد (جزئیات در منبع محمدعلی‌زاده، ۱۳۹۷).

$$R_{25} = \frac{R_T}{-0.02 T + 1.53}; r^2 = 0.98 \quad (3)$$

$$R_{25} = \frac{R_T}{-0.017 T + 1.42}; r^2 = 0.96 \quad (4)$$

$$R_{25} = \frac{R_T}{-0.018 T + 1.46}; r^2 = 0.96 \quad (5)$$

معادلات مذکور (R برحسب اهم و T برحسب سلسیوس) به‌ترتیب برای تصحیح دما در سطوح شوری $1/89$ ، $1/1$ و $1/13$ به‌کار رفتند. رطوبت حجمی (θ_v) با استفاده از روابط واسنجی زیر محاسبه شد.

$$\theta_v (\%) = 33.0/45 (R_{25})^{-0.448}; r^2 = 0.96 \quad (6)$$

$$\theta_v (\%) = 155/25 (R_{25})^{-0.411}; r^2 = 0.9 \quad (7)$$

$$\theta_v (\%) = 120/25 (R_{25})^{-0.421}; r^2 = 0.97 \quad (8)$$

$$\theta_v (\%) = 353/39 (R_{25})^{-0.467}; r^2 = 0.96 \quad (9)$$

$$\theta_v (\%) = 166/67 (R_{25})^{-0.435}; r^2 = 0.9 \quad (10)$$

$$\theta_v (\%) = 121/6 (R_{25})^{-0.433}; r^2 = 0.97 \quad (11)$$

معادلات واسنجی ۶، ۷ و ۸ مربوط به فرکانس ۱ کیلوهرتز و ۹، ۱۰ و ۱۱ مربوط به فرکانس ۱۰ کیلوهرتز بوده که به‌ترتیب برای سطوح شوری ds/m $1/89$ ، $1/1$ و $1/13$ به‌کار رفتند (برای اطلاع بیشتر رجوع به محمدعلی‌زاده، ۱۳۹۷).

پس از اتمام قرائت‌ها از سه قسمت هر ستون خاک (ابتدا، وسط و انتها) نمونه‌گیری شد و رطوبت به روش توزین تعیین شد. رطوبت‌های به‌دست آمده از

۴ روش TDR، حسگرهای مقاومتی در دو فرکانس ۱ و ۱۰ کیلوهرتز و روش مستقیم مقایسه شدند. صحت هر روش با استفاده از ملاک‌های آماری RMSE و GMER (روابط ۱۲ و ۱۳) بررسی شد. رسم نمودارها با نرم افزار Excel و تجزیه واریانس با نرم افزار SPSS در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (12)$$

$$GMER = \exp \left[\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln \left(\frac{\hat{y}_i}{y_i} \right) \right) \right] \quad (13)$$

در روابط مذکور N تعداد مشاهدات، y_i رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده از طریق نمونه برداری و توزین و \hat{y}_i رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده با TDR و یا حسگرهای مقاومتی است.

نتایج و بحث

برخی از خصوصیات خاک در جدول (۱) ارائه شده است. فشردگی خاک از عواملی است که بر جریان الکتریکی تأثیر می‌گذارد. همین امر ممکن است باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی در یک نوع خاک و با فشردگی‌های متفاوت شود (Kaboosi, ۲۰۱۴). به همین جهت تمام اندازه‌گیری‌ها در یک فشردگی ثابت انجام شده است. با توجه به اینکه جرم مخصوص ظاهری مطلوب برای کلاس بافتی لوم شنی در کاربری‌های زراعی به‌طور طبیعی حدود 1.3 g/cm^3 است، برای کل آزمایشات این مقدار اعمال شد.

جدول ۱. تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

EC ₃ (dS/m)	EC ₂ (dS/m)	EC ₁ (dS/m)	D _b (g/cm ³)	SP (%)	کلاس بافتی	بافت خاک		
						رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
۱۳/۱	۶/۱	۱/۸۹	۱/۳	۳۱	لوم شنی	۸/۶۳	۲۰/۸۵	۷۰/۵۲

EC₁ شوری اولیه خاک و EC₂ و EC₃ شوری ایجاد شده با افزودن NaCl می‌باشند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود شوری‌های ایجاد شده در عمل قدری بیشتر از شوری‌های پیش‌بینی شده یا محاسباتی (۵/۵ و ۱۰) به‌دست آمده است. علت، واقعی نبودن ضریب ۶/۴ در رابطه ۱ و استفاده از نمک کلرید سدیم برای ایجاد شوری در خاک می‌باشد. سدیم کاتیون‌های تبادلی دو ظرفیتی مثل کلسیم و منیزیم را از مکان‌های تبادلی خارج و وارد محلول خاک کرده و باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی شده‌است. رطوبت‌های ایجاد شده در هر سطح شوری در دامنه ۶ تا ۴۰ درصد حجمی بودند.

تجزیه واریانس برای رطوبت‌های حجمی به‌دست آمده از چهار روش TDR، حسگرهای هدایتی در دو فرکانس ۱ و ۱۰ کیلوهرتز و نمونه‌برداری و توزین در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که در دو سطح شوری ۱/۸۹ و ۶/۱ تفاوت معنی‌دار بین چهار روش وجود ندارد. برای نمونه، جدول ۲ تجزیه واریانس مربوط به رطوبت معادل SP ۰/۵ و شوری ۶/۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس بین رطوبت‌های حاصله از چهار روش TDR، حسگرهای هدایتی در دو فرکانس ۱ و ۱۰ کیلوهرتز و نمونه‌برداری و توزین (تیمار ۰/۵ SP).

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
ns ۰/۳۶	۰/۱۳۹	۳	روش تعیین رطوبت
-	۰/۳۸۷	۵	خطای آزمایشی
-	-	۰/۰۳	ضریب تغییرات

ns: غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد.

در شوری ۱۳/۱ dS/m TDR در رطوبت‌های حجمی بالاتر از ۱۲ درصد قادر به اندازه‌گیری رطوبت خاک نشد. شوری بالا باعث افزایش ثابت دی-الکتریک خاک و طولانی شدن زمان انعکاس موج می‌شود و احتمالاً دستگاه قادر به اندازه‌گیری آن نبوده است. تجزیه واریانس رطوبت بین سه روش

دیگر (با کنار گذاشتن TDR) برای سطح شوری ۱۳/۱ نشان داد در سطح احتمال ۵ درصد بین آن‌ها تفاوت معنی‌دار نیست و دلالت بر این دارد که حسگرهای ساخته شده از درستی اندازه‌گیری معادل با روش مرجع (نمونه‌برداری و توزین) برخوردار است. مقادیر RMSE و GMER برای روش TDR و حسگرهای مقاومتی در دو فرکانس ۱ و ۱۰ کیلوهرتز در سه سطح شوری در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود حسگرهای مقاومتی ساخته شده دارای خطای کمتری نسبت به TDR هستند.

جدول ۳. درستی رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده بادنسنگه TDR و با حسگرهای مقاومتی در مقایسه با روش مرجع نمونه‌برداری و توزین

حسگرهای مقاومتی (10 kHz)			حسگر مقاومتی (1 kHz)			TDR			روش تعیین رطوبت
۱۳/۱	۶/۱	۱/۸۹	۱۳/۱	۶/۱	۱/۸۹	۱۳/۱	۶/۱	۱/۸۹	شوری خاک (dS/m)
۱/۳۴	۱/۷۸	۱/۹۵	۱/۳۰	۱/۴۶	۲/۱۴	-	۲/۴۸	۲/۶۷	RMSE*
۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	-	۱/۰۲	۱/۰۲	GMER**

* و **: به ترتیب میانگین مربعات خطا به واحد cm^3/cm^3 و میانگین هندسی نسبت خطا.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده با توجه به کم بودن خطای اندازه‌گیری رطوبت خاک با حسگرهای مقاومتی ساخته شده در مقابل TDR، قابلیت کاربرد آن‌ها در خاک‌های شور به شرط واسنجی و مهم‌تر از همه هزینه بسیار کم ساخت یا تهیه، به کارگیری آن‌ها را در مقیاس بزرگ برای اندازه‌گیری رطوبت خاک میسر و مطلوب می‌سازد. در مقابل نیاز به واسنجی اولیه و به کارگیری آن در محاسبه رطوبت از معایب این حسگرها می‌باشد. البته نیاز به واسنجی برای TDR و رطوبت سنج‌های خازنی در خاک‌های نامتعارف (شوری بالا، ماده آلی بالا و تخلخل پائین) نیز مطرح است. به نظر می‌رسد در شرایطی که نیاز به اندازه‌گیری‌های متعدد و پیوسته رطوبت خاک باشد به کارگیری حسگرهای مقاومتی علی‌رغم نیاز به واسنجی در کنار هزینه بسیار پایین ساخت یا تهیه آن‌ها مقرون به صرفه و قابل توجیه است.

منابع:

- محمدعلی‌زاده، ف. ۱۳۹۷. کارکرد حسگرهای ساده هدایتی در پایش رطوبت در یک خاک لوم شنی با حضور ریشه جو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- Anonymous, 1969. Saline and Alkali Soils. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 20402.
- Anonymous, 2008. Field Estimation of Soil Water Content. International Atomic Energy Agency (IAEA). Training course series NO. 30, Vienna.
- Bogena, H. R., Huisman, J.A., Oberdorster, C. and Vereecken, H. 2007. Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications. *Journal of Hydrology*, 344, 32-42.
- Corwin, D. L. and Lesch, S. M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, 11-43.
- Dasberg, S. and Hopmans, J. W. 1992. Time domain reflectometry calibration for uniformly and non-uniformly wetted sandy and clayey loam soils. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1341-1345.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1986. Particle size analysis. Pp: 383-411. In: Klute A (ed). *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and mineralogical methods*. ASA and SSSA. Madison, WI.
- Gong, Y., Cao, Q. and 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.
- Kaboosi, K. 2014. The investigation of hysteresis and soil compaction on calibration curve of gypsum block. *Russian Agricultural Sciences*, 40, 357-360.
- Nadler, A. 2005. Methodologies and the practical aspects of the bulk soil EC (σ_a)—Soil Solution EC (σ_w) Relations. *Advances in Agronomy*, 88, 273-312.
- Raper, T. B., Henry, C. G., Espinoza, L., Ismanov, M. and Oosterhuis, D. M. 2015. Response of two inexpensive commercially produced soil moisture sensors to changes in water content and soil texture. *Agricultural Sciences*, 6, 1148-1163.
- Rhoades, J. D., Raats, P. A. C. and Prather, R. J. 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 40, 651-655.
- Topp, G. C., Davis, J. L. and Annan, A. P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16, 574-582.



16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Novel Technologies in Soil Science

Comparison of TDR and electrical resistance methods in soil moisture estimating in three salinity levels

MohammadalizadeFakhr^{*1}, F., Neyshabouri², M.R., Zarehaghi³, D., Zakerhamidi⁴, M.S.

¹ M. Sc. Graduated, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran

² Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran

³ Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran

⁴ Associate Prof., Research Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Iran

Abstract

Measurement of soil moisture by direct method (sampling and weighing) is destructive and time consuming. TDR apparatus and resistance sensors are of indirect methods that estimate moisture content instantaneous and non-destructive. The aim of this study was to compare TDR and electrical resistance methods in soil moisture estimating in three salinity levels (1.89, 6.1, 13.1 dS/m). The experiment was done in the format of completely randomized design in a sandy loam soil. Treatments included methods of moisture measurements (TDR, electrical resistance, direct method). Each sensor formed from a pair of electrodes and a dielectric. Moisture content obtained by reading bulk electrical resistance (R) and placing it in calibration equations. Volumetric water content of soils obtained directly by TDR. Analysis of variances was done in constant moisture and salinity levels. Results showed that volumetric moistures obtained from four various methods were not significantly different ($P < 0.05$). In salinity of 13.1 dS/m except in low moisture contents (6 to 12 %) TDR did not show output. Contrary to TDR, resistance sensors showed output in all moisture and salinity levels. Averagely error of measurement by resistance sensors (RMSE = 1.66) was lower than TDR (RMSE = 2.56). According to mentioned results and manufacturing cost, resistance sensors can be acceptable alternative for TDR in measurement of soil moisture.

Keywords: volumetric soil water, time domain reflectometry, dielectric constant, soil bulk electrical resistance, sensor calibration.

* Corresponding author, Email: fzalizade90@gmail.com