امکان اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک‌های ریزبافت شور به روش انعکاس‌سنج تأخیر زمانی

داود نیک‌نژاد*

مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران آدرس ایمیل: **niknezhad2005@yahoo.com**

«مقاله پژوهشی»

دریافت:۱۴۰۲/۶/۱۹ و پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۳

چکیده

اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد که می‌توان به روش‌هایی مانند روش‌های وزنی و حجمی، اشعه گاما، و انعکاس‌سنجی زمانی اشاره نمود. روش‌های مستقیم زمان‌بر بوده و دست‌خوردگی نمونه خاک را به همراه داشته و برخی روش‌های غیرمستقیم دارای خطرات تشعشع مواد رادیواکتیو است. از بین این روش‌ها، روش TDR[1] که جزو روش‌های انعکاس‌سنجی زمانی بوده روشی سریع و بی‌خطر است و به همین دلیل مورد توجه قرار گرفته و در خاک‌های با شرایط عادی نتایج قابل قبولی می‌دهد؛ اما برای خاک‌های شور این روش قادر به اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک نیست. هدف این پژوهش ساخت حسگرهایی بوده که دستگاه TDR با استفاده از آن‌ها قادر به اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک‌های ریزبافت شور باشد. با ساخت این حسگرها می‌توان رطوبت خاک‌های شور را با دستگاه TDR اندازه‌گیری نمود و در صورت مشاهده خطا می‌توان با ارائه مدل‌های واسنجی مناسب مقدار واقعی رطوبت خاک را به دست آورد. برای این منظور یک خاک ریزبافت از ایستگاه تحقیقات تِکمه‌داش تهیه گردیده و با افزودن مقادیر متفاوتی از نمک به آن، نمونه خاک‌هایی با مقادیر رسانایی الکتریکی ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر با تراکم طبیعی آماده شد. پس از تعیین نوع روکش مناسب برای پوشش‌دار نمودن میله حسگر رطوبتی که ماده پلیمری است از طریق آزمون و خطا، طول روکش مورد استفاده در میله وسطی حسگر رطوبتی برای خاک مذکور با شوری‌های یادشده در یک رطوبت مشخص تعیین گردید که برابر طول میله حسگر رطوبتی بود. سپس حسگرهای پوشش‌دار شده برای اندازه‌گیری سایر رطوبت‌های خاک مورد آزمایش قرار گرفت و مدل‌های واسنجی مناسب ارائه شد که با وارد کردن مقدار رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده به روش TDR در مدل‌ها می‌توان مقدار رطوبت خاک‌های ریزبافت شور را با دقت خوبی برآورد کرد.

کلمات کلیدی: روکش، پلیمر، حسگر رطوبتی، واسنجی، انعکاس‌سنجی

*-آدرس ایمیل نویسنده مسئول: niknezhad2005@yahoo.com

1 - Time domain reflectometry

مقدمه

رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک بوده که نقش مهمی در فرایندهای بیولوژیک مانند جوانه زدن بذر، رشد گیاه و تغذیه گیاه دارد. نفوذ آب در خاک و تبخیر و تعرق، رطوبت خاک را از نظر زمانی و مکانی تغییر می‌دهد. بنابراین پایش پیوسته وضعیت رطوبتی خاک ضروری است. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک وجود دارد که به روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی می‌شود. تعیین مقدار رطوبت خاک به روش وزنی که یک روش مستقیم است معیاری است که روش‌های غیرمستقیم معمولاً بر اساس آن واسنجی می‌شود. علت استفاده از برخی روش‌های غیرمستقیم به جای روش وزنی، سریع بودن، کم‌هزینه بودن و دست نخوردگی خاک است (هونداما و همکاران، ۲۰۲۰). به کمک روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت خاک ازجمله روش انعکاس‌سنجی تأخیر زمانی (TDR)، انعکاس‌سنجی تأخیر فرکانسی (FDR[1]) و مقاومت‌سنجی که رطوبت خاک را بر اساس برخی از شاخص‌های الکتریکی خاک ازجمله ثابت دی‌الکتریک، فرکانس و مقاومت الکتریکی تعیین می‌نمایند، به کمک این روش‌ها می‌توان مقدار رطوبت و شوری خاک را به‌طور خودکار اندازه‌گیری کرده و به دستگاه یا مراکز مورد نظر ارسال نمود تا بر اساس موارد ارسالی مدیریت لازم در خصوص زمان آبیاری، تغذیه گیاه و غیره صورت گیرد (پاندی و همکاران، ۲۰۱۸).

روش‌هایی مانند تتاپروب، FDR و TDR که روش‌های نسبتاً جدیدی در اندازه‌گیری رطوبت خاک هستند روش‌های سریع و بی‌خطر بوده و مقدار رطوبت حجمی خاک را بدون دست‌خوردگی خاک بر اساس ویژگی‌های استثنایی آب ازجمله ثابت دی‌الکتریک آن در کوتاه‌ترین زمان ممکن با دقت قابل قبولی تعیین می‌نمایند. روش TDR در خاک‌های عادی و دارای شرایط نرمال بخصوص بافت‌های متوسط نتایج نسبتاً دقیق و قابل قبولی ارائه می‌دهد اما در خاک‌های با شرایط نامتعارف ازجمله شوری و تراکم زیاد، دماهای زیاد و کم خاک، خیلی ریزبافت و دارای ماده آلی زیاد نتایج به دست آمده با مقدار واقعی متفاوت بوده و با خطا همراه است به همین دلیل معادلات و مدل‌های زیادی در این خصوص توسط پژوهشگران ارائه شده است که این مدل‌ها تابعی از یک یا چند عامل (ازجمله درصد ماده آلی، چگالی ظاهری خاک، دمای خاک و تخلخل) است.

در خاک‌های با شوری زیاد (بیشتر از ۱۵ دسی‌زی‌منس بر متر) بخصوص در خاک‌های ریزبافت، دستگاه TDR با حسگر دفنی معمولی قادر به اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک نبوده، لذا نمی‌توان در این خصوص معادله یا مدل واسنجی مشخصی ارائه نمود (نیک‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶).

از طرف دیگر خاک‌های شور در استان آذربایجان شرقی بخصوص در حاشیه دریاچه ارومیه و زیر حوزه‌های آن (حوزه آجی‌چای ازجمله دشت مایان) که وسعت زیادی دارد و از پوشش مرتعی برخوردار است با توجه به پس‌روی دریاچه ارومیه روز به روز بر وسعت آن افزوده می‌شود. زمین‌های کشاورزی نیز که دارای شوری شدید خاک در این استان است چندین کیلومترمربع مساحت دارند، بنابراین به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی‌های لازم مرتبط با وضعیت رطوبتی خاک، نیاز به اندازه‌گیری و پایش رطوبتی خاک است. به همین دلیل اصلاح حسگر دفنی معمولی و امکان‌پذیر ساختن اندازه‌گیری رطوبت خاک‌های شور به روش TDR امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

استفاده از روش TDR اولین بار توسط تاپ و همکاران (۱۹۸۰) صورت گرفت. آن‌ها از ضریب دی‌الکتریک برای تعیین غیرمستقیم رطوبت خاک استفاده کردند و برای این منظور از یک معادله تجربی درجه سه برای ارتباط بین ضریب دی‌الکتریک و میزان رطوبت حجمی خاک استفاده نمودند (معادله (۱)).

$$\theta_v = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \times k - 5.5 \times 10^{-4} \times k^2 + 4.3 \times 10^{-6} \times k^3 \qquad \text{معادله (۱)}$$

که در آن θ_v رطوبت حجمی خاک بر حسب m^3m^{-3} و k ثابت دی‌الکتریک خاک است.

1 - Frequency domain reflectometry

رابطه دیگر که پایه فیزیکی دارد بر اساس ترکیبی از ثابت دی‌الکتریک سه فاز تشکیل دهنده توده خاک استوار است. این مدل تحت عنوان مدل ترکیبی[1] شناخته شده و توسط دابسون و همکاران (۱۹۸۵) و راس و همکاران (۱۹۹۰) ارائه شده است. بر اساس این روش رطوبت حجمی خاک با معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$\theta_v = \frac{k^{\beta} - (1-n)k_s^{\beta} - nk_a^{\beta}}{k_w^{\beta} - k_a^{\beta}}$$ معادله (۲)

که در آن n تخلخل خاک (m^3m^{-3})، k_a، k_s و k_w به ترتیب ثابت دی‌الکتریک هوا، خاک خشک و آب است. β پارامتر هندسی است که به چگونگی قرارگیری حسگر دستگاه در خاک بستگی دارد.

پژوهش‌های انجام‌شده توسط برخی پژوهشگران نشان می‌دهد که شوری زیاد خاک باعث پراکنده شدن سیگنال منعکس شده در خاک گردیده و درنتیجه باعث افزایش زمان برگشت امواج و خطا در اندازه‌گیری مقدار رطوبت حجمی خاک توسط دستگاه TDR می‌شود. این شوری زیاد (به دلیل زیاد بودن ثابت دی‌الکتریک نمک مرطوب نسبت به نمک خشک) ضریب دی‌الکتریک خاک را افزایش می‌دهد و منجر به تخمین زیادتر مقدار رطوبت خاک می‌شود (هوک و لونگستن، ۱۹۹۵; وایت و همکاران، ۱۹۹۴; سان و همکاران، ۲۰۰۰; وایزر ۱۹۹۷; رودس و همکاران ۱۹۸۹; نامدار خجسته و همکاران، ۱۳۹۰)

قطبی بودن مولکول‌های آب عامل اصلی ضریب دی‌الکتریک بزرگ (۸۰) این ماده است و هر عاملی که باعث تغییر در میزان قطبی شدن آب باشد باعث تغییر در ضریب دی‌الکتریک آب نیز می‌شود. کاهش قطبیت و گشتاور در یک میدان مغناطیسی باعث کاهش ضریب دی‌الکتریک آب می‌شود. برای آب پیوندی که به‌طور مستقیم به سطح ذرات خاک چسبیده است، ضریب دی‌الکتریک خیلی کم (۳/۲) تعیین شده است (اور و راث، ۱۹۹۹). آب پیوندی[1] مانع از قطبی شدن مولکول‌های آب به‌وسیله جذب الکترواستاتیک زیاد روی بارهای منفی در سطح ذرات می‌شود (شانگ، ۱۹۹۴) که این عامل باعث برگشت سریعتر موج و کوتاه‌تر شدن زمان عبور امواج یا زمان تأخیر می‌شود. بنابراین وجود آب پیوندی منجر به تخمین کمتر مقدار رطوبت خاک می‌شود. در خاک‌های شنی و لومی سطح ویژه و نیروهای پیوند دهنده خیلی کم می‌باشند ولی در خاک‌های رسی با سطح ویژه زیاد، جذب شدن مولکول‌های آب بیشتر و قوی‌تر شده و اثر آب پیوندی در این نوع خاک‌ها قابل توجه می‌شود (جاکوبسن و شوئینگ، ۱۹۹۳).

توکا و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر کود نیتروژن در خاک را بر دقت اندازه‌گیری رطوبت به روش TDR بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که افزودن کود نیتروژن به خاک باعث افزایش غلظت نمک در خاک شده و دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش TDR کاهش می‌یابد بنابراین لازم است که در اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک مورد نظر به روش TDR عمل واسنجی صورت گیرد. اسکندری (۱۳۸۲) با اندازه‌گیری شوری بر روی چهار نوع نمونه خاک با شوری‌های مختلف به روش TDR، به مقایسه نتایج حاصله با روش متداول رسانایی‌سنج الکتریکی پرداخت. نتایج او نشان داد که اندازه‌گیری در خاک‌هایی با رسانایی الکتریکی بیش از پنج دسی‌زیمنس بر متر به روش TDR به دلیل افت زیاد موج بازگشتی، باعث خطا در ارزیابی ضریب دی‌الکتریک شده و به دنبال آن درصد رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده خاک با خطا مواجه می‌شود. ضیا او و همکاران (۲۰۱۷) در مورد اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک‌های بسیار شور پژوهش‌هایی انجام دادند. آن‌ها توانستند با روکش‌دار نمودن یکی از میله‌های حسگر دفنی با مواد پلاستیکی، رطوبت خاک‌های شور را به روش TDR اندازه‌گیری نمایند. پژوهش‌های نیک‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که برای خاک‌های ریزبافت در مقادیر رسانایی الکتریکی ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری مقدار رطوبت به روش TDR به ترتیب در رطوبت‌های بیشتر از ۳۸ و ۳۱ درصد حجمی با استفاده از حسگر دفنی مدل 6005L که میله‌های آن بدون پوشش پلیمری است ممکن نیست و برای خاک‌های درشت‌بافت و متوسط‌بافت در شوری

1- Mixing model
1 - Bound water

۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در رطوبت‌های بیشتر از ۱۱ و ۳۷ درصد حجمی نمی‌توان مقدار رطوبت خاک را به روش مذکور تعیین نمود. عبداله و همکاران (۲۰۲۰) در مورد اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش TDR این نتیجه رسیدند که در خاک‌های ریزبافت و در دامنه مرطوب دقت دستگاه TDR در اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک کاهش می‌یابد.

پژوهش‌هایی که تاکنون صورت گرفته، نشان می‌دهد که اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک به روش TDR با استفاده از حسگرهای دفنی و اتصالی که دارای میله‌های بدون پوشش پلیمری بوده است، در خاک‌های با شوری زیاد دارای محدودیت بوده و به دلیل ایجاد اختلال در دستگاه امکان اندازه‌گیری مقدار رطوبت در خاک‌های شور و خیلی شور میسّر نیست.

در پژوهش‌های انجام شده با توجه به منابع موجود از حسگرهای معمولی بدون پوشش پلیمری استفاده شده که تمامی آن‌ها در خاک‌های شور به محدودیت اندازه‌گیری اشاره نمودند و بررسی‌های صورت گرفته در ایران نشان می‌دهد که اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک‌های شور به روش TDR با حسگرهای دارای پوشش پلیمری بررسی نشده و به همین دلیل واسنجی این روش نیز با حسگر پوشش‌دار مورد پژوهش قرار نگرفته است و حتی در منابع خارجی نیز موردی در این خصوص یافت نشد بنابراین پژوهش در این خصوص لازم و ضروری بوده که در صورت محقق شدن می‌توان مقدار رطوبت خاک‌های شور را با دقت مناسب اندازه‌گیری کرده و برنامه‌ریزی‌های لازم را در موارد مرتبط با رطوبت خاک انجام داد. بنابراین هدف از این پژوهش ساخت و واسنجی حسگر رطوبتی دفنی و امکان اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک‌های شور ریزبافت به روش TDR است تا بتوان بر اساس آن برنامه‌ریزی‌های لازم را در این خصوص انجام داد.

مواد و روش‌ها

معرفی دستگاه TDR و حسگر رطوبتی مورد استفاده

دستگاه TDR که به آن بازتاب زمانی امواج گفته می‌شود از نوع Trase مدل 6050X1 ساخت شرکت Soil Moisture است. اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک با این دستگاه که به روش بازتاب زمانی امواج مشهور است بر پایه ارسال امواج الکترومغناطیس در طول میله حسگر و دریافت امواج برگشتی استوار است.

با توجه به منحنی‌های تبدیل که بر اساس نوع حسگر در ساختار نرم‌افزار داخلی دستگاه توسط شرکت سازنده قرار داده شده است ثابت دی‌الکتریک به مقدار رطوبت حجمی خاک تبدیل می‌شود و یا بر اساس مدل‌های مختلفی که توسط پژوهشگران ارائه شده‌اند می‌توان ثابت دی‌الکتریک قرائت شده با دستگاه TDR را به مقدار رطوبت حجمی خاک تبدیل نمود.

دستگاه TDR دارای حسگر دفنی سه شاخه‌ای به طول میله‌های ۲۰ سانتیمتر و حسگرهای اتصالی دو شاخه‌ای با طول میله‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۰ سانتیمتر است. این دستگاه دارای سه پنجره زمانی اندازه‌گیری ۱۰، ۲۰ و ۴۰ نانوثانیه است که پنجره ۱۰ نانوثانیه برای حسگرهای با طول میله‌های ۱۵ الی ۳۰ سانتیمتر از طرف کارخانه سازنده پیشنهاد شده و برای حسگرهای با طول میله‌های بیشتر از ۳۰ سانتیمتر بهتر است از پنجره زمانی بزرگ‌تر استفاده شود. (راهنمای دستگاه TDR مدل TRASE، ۱۹۹۶).

در این پژوهش از حسگر تدفینی ساده مدل6005L استفاده شده که دارای سه میله است میله وسطی حسگر به‌عنوان فرستنده امواج و دو میله کناری به‌عنوان گیرنده امواج عمل می‌نمایند. حسگر دفنی مورد استفاده در این پژوهش بر اساس مهندسی معکوس توسط پژوهشگران پژوهشکده حفاظت خاک و آب از روی نمونه خارجی آن مشابه‌سازی شده که طول میله‌های حسگر ۲۰ سانتی‌متر و طول کابل آن‌ها دو متر بودند.

چگونگی ایجاد شوری مشخص در خاک

از آنجایی‌که در شرایط طبیعی و برای خاک‌های مختلف ترکیب املاح موجود در خاک‌ها متفاوت است بنابراین برای کاهش خطا و استفاده از نتایج آزمایشگاهی برای شرایط صحرایی بهتر است تا حد امکان شرایط آزمایشگاهی خاک را از نظر شوری و درجه تراکم به حالت طبیعی نزدیک‌تر ساخت. با توجه به نتایج پژوهش اصغرزاد (۱۳۷۹) درصد وزنی نمک‌های غالب در خاک‌های استان مشخص شده است. این نمک‌ها عبارت بودند از سولفات منیزیم (۱۴/۹۱ درصد وزنی)، سولفات سدیم (۳۰/۶۲ درصد وزنی)، کلرید سدیم (۲۷/۷۰ درصد وزنی) و کلرید کلسیم (۲۶/۷۷ درصد وزنی). در این پژوهش نیز از همین درصدهای وزنی استفاده شد.

برای ایجاد شوری‌های مختلف در خاک مورد نظر، به ازای مقدار مشخصی از وزن خاک خشک آماده شده، مقداری نمک مطابق درصدهای مذکور افزوده شد بعد از اینکه مقادیر وزنی نمک‌ها مشخص شد آن‌ها را به نمونه خاک‌هایی که از قبل آماده شده بودند افزوده و آن‌قدر به هم زده شد تا نمونه یکنواخت به دست آید. خاک مورد استفاده ریزبافت و غیرشور بوده که از زمین‌های اطراف شهرستان تیکمه‌داش واقع در استان آذربایجان‌شرقی تهیه شد. خاک مذکور از الک شماره ۵ با اندازه چشمه ۴ میلی‌متر عبور داده شد و به حالت رطوبت هواخشک رسانده شد.

برای به دست آوردن رابطه تجربی وزن نمک و رسانایی الکتریکی در خاک با فرض یک وزن ثابت ترکیب خاک و نمک، مقادیر مختلفی از نمک به خاک مورد نظر افزوده شد و رسانایی الکتریکی ترکیب‌های به دست آمده اندازه‌گیری شد بدین ترتیب برای خاک مذکور ۱۸ مورد رسانایی الکتریکی به ازای مقادیر مختلف متناظر نمک به دست آمد این داده‌ها وارد نرم‌افزار Excel گردیده و نمودار تجربی مربوط به آن ترسیم شد به‌طوری که محور افقی نمودار، وزن نمک بر حسب گرم و محور عمودی آن را رسانایی الکتریکی برحسب دسی‌زیمنس بر متر تشکیل می‌داد. از روی نمودار یا معادله رگرسیونی به دست آمده می‌توان مقدار نمک مورد نیاز برای رسانایی الکتریکی مشخص در خاک مورد نظر را محاسبه نمود.

انتخاب پوشش مناسب برای روکش‌دار کردن حسگر رطوبتی

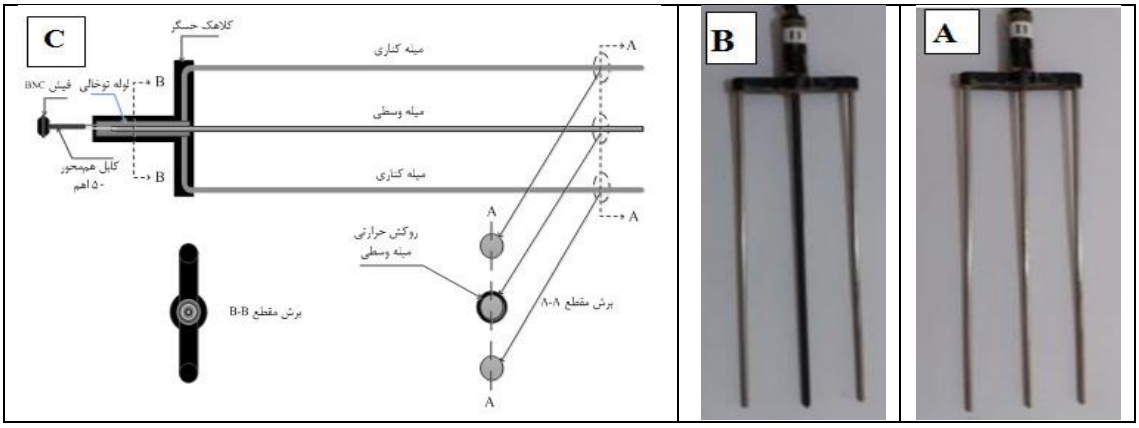
از آنجایی که حسگر دفنی معمولی برای اندازه‌گ.یری رطوبت خاک در شرایط متعارف مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای خاک‌های با شوری زیاد دستگاه TDR در موقع اندازه‌گیری رطوبت خاک با خطا مواجه می‌شود. برای رفع این مشکل حسگر دفنی پوشش‌دار پیش‌بینی شده است که میله وسطی آن دارای نوعی پوشش پلیمری است اما با توجه به انازه‌گیری‌های صورت گرفته، رطوبت اندازه‌گیری شده با این حسگر توسط دستگاه TDR، دیگر با پیام خطا مواجه نمی‌شود منتها مقدار رطوبت خاک را گاهاً بیش از دو برابر نشان می‌داد که قابل اعتماد نبود. درنتیجه با استفاده از مهندسی معکوس در ساخت این حسگر از نمونه اصلی که ساخت شرکت Soil moisture Equipment Corp آمریکا است عملاً به جواب نمی‌رسید. به همین منظور از تعدادی حسگر دفنی معمولی بدون پوشش که قبلاً توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری از طریق مهندسی معکوس مشابه‌سازی شده بودند استفاده شد و برای روکش‌دار کردن میله وسطی حسگر مواد مختلف پلیمری ازجمله پلاستیک، سیلیکون و پلی‌الفین مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تعیین روکش مناسب میله وسطی حسگر ابتدا یک سری آزمایش مقدماتی صورت گرفت تا بتوان از میان پوشش‌های موجود، پوشش مناسب را انتخاب نمود. سادگی نصب، مقاوم بودن در برابر گرما و عوامل شیمیایی، ارزان بودن و دقت در نتایج از اولویت‌های انتخاب پوشش برای روکش‌دار کردن میله وسطی حسگر بود. با توجه به آزمایش‌های مقدماتی مشخص شد که نوعی پوشش به نام شیرینگ یا وارنیش که به روکش حرارتی معروف است و از نوعی پلی‌الفین جمع‌شونده یا انعطاف‌پذیر تهیه شده است برای روکش کردن میله حسگر مناسب است.

شیرینگ‌های حرارتی مورد استفاده در این پژوهش تک لایه و مشکی رنگ بوده که از پلی‌الفین ویژه پیوند متقابل[1] شده تولید می‌شود. ماده تشکیل دهنده آن پلی‌الفین انعطاف‌پذیر، بدون هالوژن، ضد شعله، خود خاموش شونده و پیوند متقابل شده است. دمای کاری ۴۵- تا ۱۲۵+ درجه سلسیوس بوده و دمای مورد نیاز برای جمع شوندگی حداقل و حداکثر به ترتیب برابر ۷۰ تا ۱۲۰ درجه سلسیوس با ضریب جمع‌شوندگی یک به دو است یعنی پس از گرمادهی مناسب، قطر روکش حرارتی به نصف قطر اولیه کاهش می‌یابد (شرکت آژاکس، بدون تاریخ).

ساخت حسگر رطوبتی روکش‌دار

با توجه به پیش‌آزمایش‌های صورت گرفته از میان گزینه‌های موجود بهترین گزینه برای روکش‌دار کردن میله وسطی حسگر دفنی، استفاده از روکش حرارتی تک لایه با قطر سه میلی‌متر بود. حسگر دفنی رطوبتی از طریق مهندسی معکوس توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری از روی نمونه خارجی مشابه‌سازی گردید اما این حسگر با استفاده از دستگاه TDR قادر به اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک در شرایط متعارف بود و در خاک‌های با ریزبافت که شور بودند به‌دلیل داشتن رسانایی الکتریکی زیاد در بین میله‌های حسگر، دستگاه TDR در اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک با خطا مواجه شد. به همین دلیل میله وسطی حسگر با طول و تعداد لایه‌های متفاوت از روکش حرارتی پوشش داده شدند و با نصب آن در خاک ریزبافت با شوری‌های متفاوت، مقدار رطوبت خاک با دستگاه TDR اندازه‌گیری شد. مقدار روکش استفاده‌شده زمانی بهینه می‌شد که مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به روش TDR برابر یا نزدیک به مقدار رطوبت واقعی می‌شد.(شکل ۱) نمونه‌ای از حسگر دفنی بدون روکش، با روکش میله وسطی و جزئیات آن را با میله وسطی روکش‌دار شده نشان می‌دهد. ظرف خاک مورد استفاده برای این قسمت از پژوهش، ظروف استوانه‌ای پلاستیکی به عمق ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۲۱ سانتی‌متر بود که برای زهکشی یا اشباع نمودن خاک داخل آن، در قسمت تحتانی دارای زهکش و فیلتر شنی بود. با توجه به طول میله حسگر (۲۰ سانتیمتر) ۲۱ سانتیمتر از عمق ظرف پر از خاک گردید و به حدی متراکم گردید که چگالی ظاهری آن به حد طبیعی در شرایط مزرعه (۱/۲۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) برسد. سه استوانه خاک با مقادیر رسانایی الکتریکی ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر تهیه شده و خاک داخل آن‌ها اشباع شدند. حسگر دفنی روکش‌دار شده در خاک ریزبافت با رطوبت و شوری مشخص نصب شده و رطوبت خاک با دستگاه TDR از طریق حسگر قابل اندازه‌گیری بود. مقادیر رطوبت واقعی خاک نیز به روش وزنی توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری می‌شد و با مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده به روش TDR مورد مقایسه قرار می‌گرفت. با توجه به اینکه سه سطح شوری در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت و برای هر سطح شوری سه تکرار در نظر گرفته شد درنتیجه نه عدد حسگر رطوبتی دفنی روکش‌دار برای یک رطوبت حجمی مشخص (مثلاً رطوبت ۴۷/۷ درصد حجمی برای خاک با رسانایی الکتریکی ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر) ساخته شده و واسنجی شدند اما رفتار این حسگرها برای رطوبت‌های دیگر خاک (مانند ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد حجمی) نامعلوم بود و بایستی برای سایر مقادیر رطوبت خاک نیز عمل واسنجی صورت می‌گرفت تا در صورت تغییر رطوبت از مقدار واقعی، این تغییر در معادله واسنجی لحاظ شود. (شکل ۲) چگونگی توزین ظرف خاک و قرائت رطوبت از طریق حسگر رطوبتی به روش TDR را در سه سطح شوری نشان می‌دهد.

1 - Cross link



شکل ۱- حسگر رطوبتی دفنی بدون پوشش میله وسطی (A)، حسگر دفنی رطوبتی با میله وسطی روکش شده (B) و جزئیات حسگر رطوبتی دفنی با میله وسطی روکش شده (C)

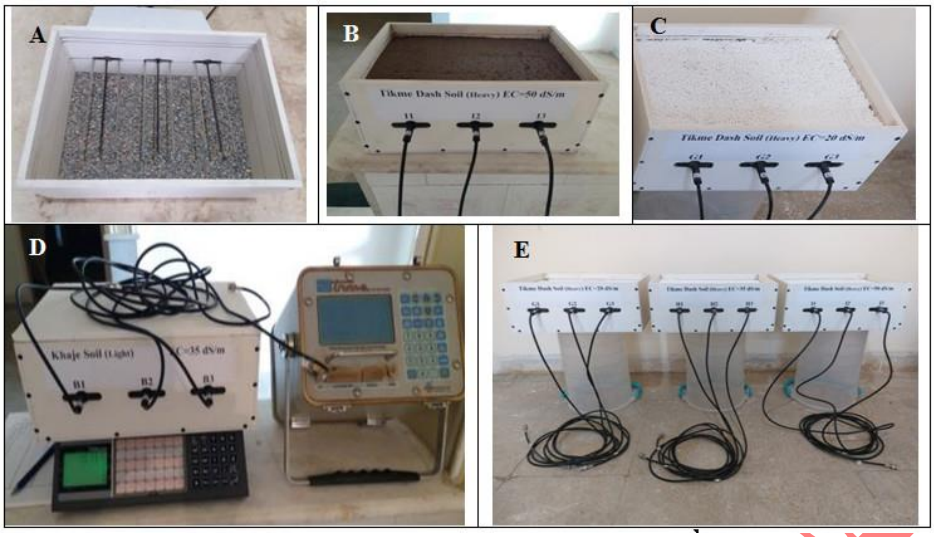
شکل ۲- تعیین مقدار روکش حسگر رطوبتی از طریق آزمون و خطا به روش TDR در خاک تیکمه‌داش (ریزبافت) در مقادیر رسانایی الکتریکی ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر

واسنجی حسگرهای رطوبتی روکش‌دار شده

از آنجایی‌که حسگرهای روکش‌دار شده در موقع ساخت از طریق آزمون و خطا برای یک مقدار رطوبت مشخص (رطوبت زیاد) واسنجی شده بود و رفتار آن‌ها برای سایر رطوبت‌ها (رطوبت‌های کم) نامعلوم بود به همین علت حسگرهای ساخته شده باید نسبت به حداکثر دامنه رطوبتی بافت‌های مختلف خاک‌ها (اشباع تا هواخشک) در سطوح مختلف شوری واسنجی می‌شدند تا بتوان با استفاده از نتایج واسنجی‌ها با کمترین خطا به رطوبت واقعی خاک دست یافت.

برای این‌منظور از جعبه‌هایی از جنس عایق استفاده شد که به ترتیب دارای طول، عرض و عمق ۳۵، ۲۵ و ۱۴ سانتی‌متر بود. با توجه به اینکه قرار بود در هر ظرف سه عدد حسگر رطوبتی نصب شود و برای هر سطح شوری یک ظرف در نظر گرفته شود سه عدد جعبه با ابعاد مذکور ساخته شد و بعد از ایجاد زهکش و قرار دادن فیلتر شنی در قسمت تحتانی، خاک ریزبافت با شوری‌های ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر به عمق ۱۰ سانتیمتر در داخل ظروف ریخته و در حد چگالی ظاهری طبیعی متراکم گردیده و پس از اشباع شدن، حسگرهای رطوبتی به‌طور افقی در خاک نصب شدند. برای جلوگیری از ترک خوردن سطح خاک در اثر خشک شدن سریع و امکان تماس میله‌های حسگر با هوا، لایه‌ای به ضخامت یک سانتیمتر از دانه‌های یونولیتی بر روی خاک پخش گردید. (شکل ۳).

برای تهیه مدل واسنجی نیاز به اندازه‌گیری مقدار رطوبت واقعی خاک بود که دقیق‌ترین روش برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت واقعی خاک، روش وزنی است. بدین ترتیب پس از این‌که رطوبت حجمی خاک به روش TDR اندازه‌گیری شد برای مقایسه با رطوبت واقعی و تهیه مدل واسنجی مناسب، به‌طور هم‌زمان رطوبت وزنی خاک نیز اندازه‌گیری می‌شد (شکل ۳).



شکل ۳- فیلتر شنی و چگونگی قرار گرفتن حسگر رطوبتی در ظرف (A)، ظرف پر شده از خاک همراه با نصب حسگرهای رطوبتی (B)، پخش دانه‌های یونولیتی بر روی سطح خاک (C) اندازه‌گیری هم‌زمان مقدار رطوبت خاک به روش TDR و وزنی (D) و ظروف خاک همراه با متعلقات آماده برای اندازه‌گیری رطوبت (E)

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک

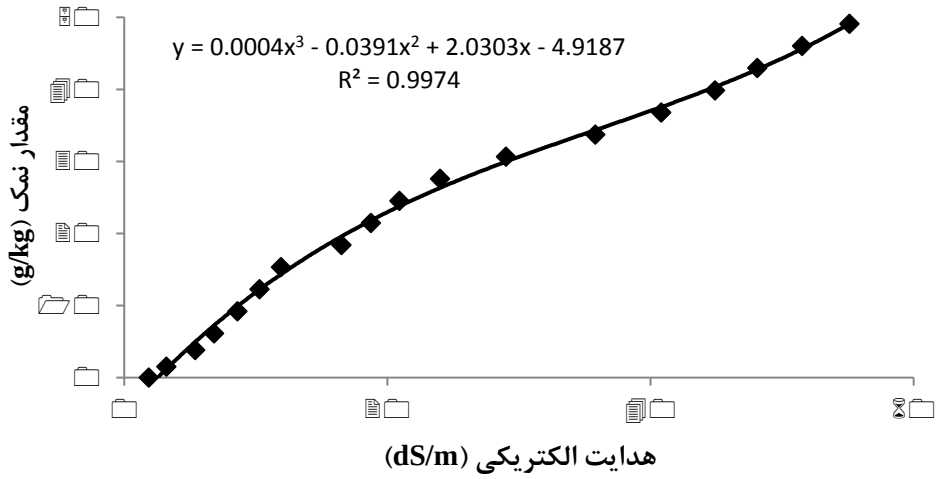
جدول یک برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده را نشان می دهد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

محل	مختصات محل (UTM)		عمق	EC	pH	کربن آلی	ρ_b	ρ_s	FC	PWP	Sand	Silt	Clay	بافت
	Y	X	m	dS/m		%O.C	g/cm³	g/cm³	% وزنی	% وزنی	%	%	%	
تیکمه‌داش	۴۱۷۹۱۳۲	۶۷۰۱۲۰	۰-۳۰	۰/۲	۸/۰۳	۰/۵	۱/۲۸	۲/۵۴	۳۸/۶۷	۲۰/۰۳	۳۷	۲۹	۳۴	لوم رسی

محاسبه مقدار نمک به ازای رسانایی الکتریکی مشخص

با توجه به نمودار تجربی(شکل ۴) که مقدار نمک بر حسب گرم بر کیلوگرم خاک تابعی از رسانایی الکتریکی خاک بر حسب دسی‌زیمنس بر متر است می‌توان با فرض یک رسانایی الکتریکی مشخص خاک، مقدار نمک مورد نیاز را برآورد نمود.



شکل ۴- منحنی هدایت الکتریکی به ازای مقادیر مختلف نمک برای خاک ریزبافت

در این پژوهش برای خاک مورد نظر سه سطح شوری انتخاب شد که رسانایی الکتریکی عصاره اشباع آن‌ها برابر ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی زیمنس بر متر بودند. مقادیر نمک به دست آمده و درصدهای آن‌ها در خاک برای شوری‌های مذکور به ازای مقدار مشخصی از جرم خاک (یک کیلوگرم = خاک خشک + نمک) مطابق (جدول ۲) است. حال بر اساس داده‌های این جدول به ازای هر مقدار جرم خاک (خاک خشک + نمک) می‌توان برای رسانایی الکتریکی مورد نظر، مقدار نمک را از طریق یک نسبت ساده محاسبه نمود.

جدول ۲- محاسبه جرم و درصد نمک و خاک خشک مدل برای مقادیر رسانایی الکتریکی عصاره اشباع مختلف در خاک ریزبافت

	رسانایی الکتریکی (dS/m)					
	۲۰		۳۵		۵۰	
	جرم (گرم)	درصد	جرم (گرم)	درصد	جرم (گرم)	درصد
نمک	۲۳/۲	۲/۳۲	۳۵/۴	۳/۵	۴۸/۸	۴/۹
خاک خشک	۹۷۶/۸	۹۷/۶۸	۹۶۴/۶	۹۶/۵	۹۵۱/۲	۹۵/۱
جمع (نمک + خاک خشک)	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰

مقدار روکش حرارتی مورد استفاده

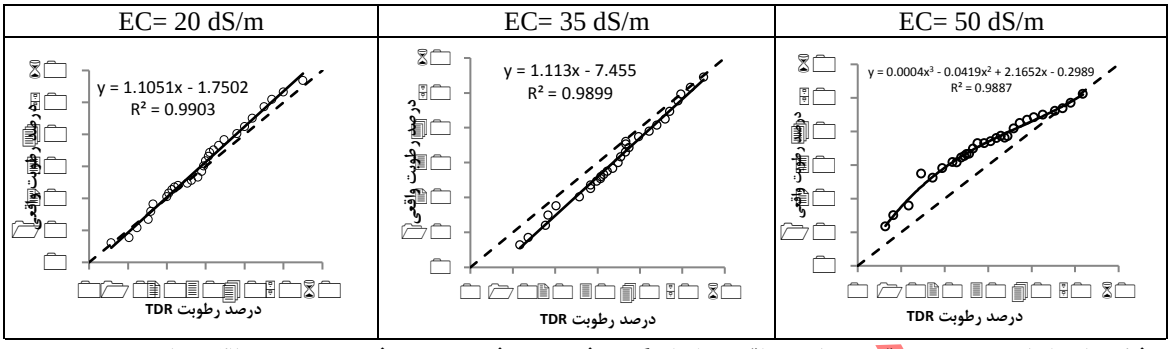
در این پژوهش با توجه به نوع خاک و سطوح شوری سه تیمار وجود داشت. از آنجایی که هر کدام از تیمارها دارای سه تکرار است بنابراین با توجه به سه تیمار و سه تکرار نه عدد حسگر رطوبتی باید با روکش حرارتی، پوشش‌دار و هرکدام از حسگرها با طول روکش‌های مختلف چندین بار در خاک نصب و میزان رطوبت خاک با دستگاه TDR اندازه‌گیری می‌شد هرگاه مقدار رطوبت حجمی قرائت شده از دستگاه TDR با مقدار رطوبت واقعی یکسان یا نزدیک به هم بودند مثلاً با یک لایه کامل روکش حرارتی بر روی میله وسطی حسگر مقادیر دو تا رطوبت (رطوبت واقعی و رطوبت قرائت شده از دستگاه TDR) به هم نزدیک می‌شدند هر سه تا حسگر یا سه تکرار با یک لایه روکش حرارتی پوشش‌دار می‌شد که در این پژوهش مطابق (جدول ۳) برای خاک مورد نظر در هر سه سطح شوری از یک لایه پوشش کامل (معادل ۲۰ سانتی‌متر) برای روکش‌دار کردن میله وسطی استفاده شد.

جدول ۳- مشخصات نمونه‌های خاک مورد استفاده برای روکش‌دار نمودن حسگرهای رطوبتی

محل نمونه‌برداری خاک	بافت خاک	رسانایی الکتریکی (dS/m)	مقدار روکش حرارتی نصب شده برای میله وسطی حسگر
ایستگاه تیکمه‌داش	ریزبافت	۲۰	یک لایه کامل
		۳۵	یک لایه کامل
		۵۰	یک لایه کامل

رابطه بین مقادیر رطوبت واقعی خاک و اندازه‌گیری شده به روش TDR

برای این منظور اندازه‌گیری مقادیر رطوبت خاک به روش وزنی و روش TDR در سه سطح شوری با مقادیر رسانایی الکتریکی ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی زیمنس بر متر صورت گرفت و داده‌ها مطابق شکل ۵ در محورهای مختصات پیاده گردید. سپس روش‌های رگرسیون نمایی، خطی، لگاریتمی، چندجمله‌ای و توانی بر روی نقاط برازش داده شد. از میان روش‌های مذکور، معادله‌های رگرسیونی مناسب که از برازش خوبی بر نقاط برخوردار بودند و از نظر آماری دارای ضریب تبیین (R^2) بالایی بودند برای خاک با مقادیر رسانایی الکتریکی ۲۰ و ۳۵ dS/m از معادله رگرسیون خطی و برای خاک با رسانایی الکتریکی ۵۰dS/m از معادله رگرسیونی درجه سه استفاده شد. در صورتیکه مقادیر رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به روش TDR با مقادیر رطوبت واقعی یکسان باشند نمودارهای مربوط به شکل ۵ عملاً به صورت یک خط مستقیم با زاویه ۴۵ درجه خواهند بود که به صورت خط‌چین در شکل مذکور رسم شده‌اند. مقایسه روابط واسنجی نشان می‌دهد با افزایش شوری خاک، روابط از خط ۱:۱ دور شده‌اند.



شکل ۵- رابطه تجربی بین مقادیر رطوبت واقعی و اندازه‌گیری شده به روش TDR در شوری‌های ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر

نیک‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که برای خاک‌های ریزبافت با مقادیر رسانایی الکتریکی برابر ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش TDR به ترتیب در مقادیر رطوبت حجمی بیشتر از ۳۸ و ۳۱ درصد با استفاده از حسگر دفنی مدل 6005L که میله‌های آن بدون پوشش پلیمری است ممکن نیست و برای خاک‌های با بافت درشت و متوسط در رسانایی الکتریکی ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در مقادیر رطوبت حجمی بیشتر از ۱۱ و ۳۷ درصد نمی‌توان رطوبت خاک را به روش مذکور تعیین نمود؛ اما با پوشش‌دار کردن میله وسطی حسگر دفنی با مواد پلی‌الفین جمع شونده می‌توان بدون محدودیت، رطوبت خاک‌های شور را حتی در رسانایی الکتریکی بیش از ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از دستگاه TDR اندازه‌گیری نموده و برای دقت بیشتر می‌توان از مدل‌های واسنجی استفاده نمود.

مقایسه مقدار رطوبت واقعی با رطوبت اندازه‌گیری شده به روش TDR

با توجه به (جدول ۴) برای خاک ریزبافت (خاک تیکمه‌داش) با مقادیر رسانایی الکتریکی ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر، مقادیر رطوبت واقعی خاک به ترتیب برابر ۴۹/۸، ۵۰/۱ و ۴۷/۷ درصد حجمی و رطوبت‌های قرائت شده با دستگاه TDR و حسگر شرکت سازنده (حسگر موجود) در پنجره زمانی ۱۰ نانوثانیه به ترتیب برابر ۶۱/۷، ۹۳/۵ و ۶۷/۴ درصد حجمی بودند؛ اما رطوبت‌های قرائت شده از دستگاه TDR با استفاده از حسگرهای ساخته شده به ترتیب برابر ۴۷/۳، ۴۹/۲ و ۴۷/۱ درصد حجمی به دست آمد که به مقادیر رطوبت واقعی نزدیک‌تر بودند. طول روکش مورد استفاده برای میله وسطی حسگر ساخته شده در مقادیر رسانایی الکتریکی مذکور، ۲۰ سانتی‌متر یا به عبارتی دیگر یک لایه کامل بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود رطوبت‌های به دست آمده از طریق حسگر شرکت سازنده اختلاف فاحشی با مقادیر رطوبت واقعی دارد. به همین دلیل نتایج اندازه‌گیری‌های به دست آمده با این حسگر قابل اعتماد نبود. در صورتیکه مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده به روش TDR با حسگر رطوبتی ساخته شده تفاوت جزئی با مقادیر رطوبت واقعی داشت که آن هم یک امر طبیعی است و می‌توان آن را به دقت در ساخت حسگر، نصب آن در خاک و تغییرات دمای محیط آزمایشگاه نسبت داد.

جدول ۴- مقایسه مقادیر رطوبت واقعی با رطوبت اندازه‌گیری شده به روش TDR در خاک ریزبافت با مقادیر رسانایی الکتریکی (شوری) متفاوت

رسانایی الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	۲۰	۳۵	۵۰
درصد رطوبت حجمی واقعی	۴۹/۸	۵۰/۱	۴۷/۷
درصد رطوبت حجمی با حسگر روکش‌دار ساخته شده	۴۷/۹	۴۹/۲	۴۷/۱
درصد رطوبت حجمی با حسگر روکش‌دار موجود	۶۱/۷	۹۳/۵	۶۷/۴

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد مناسب‌ترین مواد برای تبدیل حسگر دفنی رطوبتی مدل 6005L (حسگر دفنی کفشکی بدون روکش میله وسطی) به مدل 6005L (حسگر دفنی کفشکی با میله وسطی روکش‌دار) استفاده از نوعی پوشش

پلیمر به نام پلی‌الفین جمع شونده با پیوند متقابل است که به روکش حرارتی جمع شونده، شیرینگ یا وارنیش نیز مشهور است، از مزایای این نوع روکش می‌توان به کم بودن ثابت دی‌الکتریک، مقاوم بودن در برابر گرما و عوامل شیمیایی، نصب آسان و ارزان بودن آن اشاره نمود. طول بهینه روکش حرارتی مورد استفاده برای پوشش دادن میله وسطی حسگر رطوبتی برابر طول میله حسگر (۲۰ سانتیمتر) بود که به روش آزمون و خطا به دست آمد. حسگر رطوبتی مدل 6005CL که توسط شرکت سازنده دستگاه TDR برای اندازه‌گیری رطوبت خاک‌های شور تا رسانایی الکتریکی ۵۰ دسی‌زیمنس ساخته شده است دارای میله وسطی روکش‌دار از جنس پلیمر است اما با توجه به آزمایش‌های راست‌آزمایی انجام شده خطای خیلی زیادی داشت که قابل قبول نبود. رطوبت قرائت شده توسط دستگاه TDR با استفاده از این نوع حسگر گاهاً بیش از دو برابر مقدار واقعی بود.

بنابراین، با توجه به توضیحات مذکور امکان اندازه‌گیری رطوبت خاک‌های شور و خیلی شور (حتی بیش از ۵۰dS/m) با استفاده از دستگاه TDR برای اولین بار در ایران فراهم شده و حسگر رطوبتی ساخته شده مانند حسگرهای معمولی متناسب با تغییر رطوبت خاک در اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش TDR واکنش نشان می‌داد. در صورتی که بر اساس پژوهش‌های انجام شده اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک‌های شور و خیلی شور با استفاده از حسگر دفنی بدون پوشش امکان‌پذیر نبوده و حتی در شوری‌های پایین، دستگاه TDR دچار اختلال شده و یا مقدار رطوبت خاک را کمتر یا بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌داد.

فهرست منابع

۱. اسکندری، ذ و بهمن‌پور، م. ۱۳۸۲. تعیین هدایت الکتریکی آب و خاک با استفاده از TDR، مجموعه مقالات سومین همایش آبخوانداری، ارومیه. صفحه ۱۴ – ۲.

۲. شرکت آژاکش. بی تا. روکش حرارتی تک لایه مورد مصرف عمومی. (http://woer.ir).

۳. علی اصغرزاد، ناصر. ۱۳۷۹. بررسی پراکنش و تراکم جمعیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاکهای شور دشت تبریز و تعیین اثرات تلقیح آن‌ها در بهبود تحمل پیاز و جو به تنش شوری، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران.

۴. کشاورز، م. ناظمی، ا. م. صدرالدینی، س. ع. ا. نیشابوری، م. ر. ناصری، ا. و فاخری‌فرد، ا. ۱۳۹۲. تاثیر بافت خاک بر دقت روش انعکاس سنجی حوزه زمانی در برآورد رطوبت خاک، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره ۱۱.

۵. نامدار خجسته، د. شرفا، م. اسکندری، ذ. و فاضلی سنگانی، م. ۱۳۹۰. تأثیر میزان رس و شوری خاک در رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده با انعکاس سنج زمانی، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد ۲۵ / شماره ۲ .

۶. نیک‌نژاد، د .روغنی، م .کلانتری اسکوئی، ع .کمالی، ک .خانی، م .میرمحمدی، و .۱۳۹۶ .واسنجی حسگرهای رطوبتی تدفینی ساخت داخل کشور برای دستگاه TDR مدل 1X6050–TRASE در بافت‌ها و شوری‌های مختلف خاک، گزارش نهایی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، شماره فروست ۵۲۵۸۵.

7. Abdullah, N. H. H., Kuan, N. W., Ibrahim, A., Ismail, B. N., Majid, M. R. A., Ramli, R. and Mansor, N. S. 2020. Determination of Soil Water Content Using Time Domain Reflectometer (TDR) for Clayey Soil AIP Conference Proceedings (https://doi.org/10.1063/1.5062642).

8. Dobson, M.C., Ulaby, F.T., Hallikainen, M.T. and El-Rayes M. A., 1985. Microwave dielectric behaviour of wet soil. Part II: Dielectric mixing models. Institution of

Electrical and Electronic Engineers Transactions on Geoscienxce and Remote Sensing. 23:35-46.
9. Hook, W.R. and Livingston, N.J., 1995. Propagating Velocity Errors in Time DomainReflectometry Measurement of Soil Water. Soil Sci. Soc. Am. J. 59:92-96.
10. Hunduma,S. and Kebede, G. 2020. Indirect Methods of Measuring Soil Moisture Content Using Different Sensors, African Journal of Basic & Applied Sciences 12 (3): 37-55.
11. Jacobsen, O.J. and Schjonning, P., 1993. A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. J. Hydrol. , 5: 147-157.
12. Pandey, G., Robert, J. and Ratnesh, K. 2018. Agricultural Cyber-Physical System: In-Situ Soil Moisture and Salinity Estimation by Dielectric Mixing, IEEE, Volume 6.
13. Or, D., Wraith, J.M., 1999. Temperature effects on soil bulk dielectric permittivity measured by time domain reflectometry: a physical model. Water Resour. Res. 35: 371–833.
14. Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J. and Alves, W.J., 1989. Soil electrical conductivity and salinity: new formulations and calibrations. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 433–439.
15. Roth, K., Schulin, R., Fluhler, H. and Attinger, W., 1990. Calibration of TDR for water content measurement using a composite dielectric approach . Water Resour Res. 26(10): 2267– 2273.
16. Shang, J. Q. 1994. Quantitative determination of Potential Distribution in Stern-Gouy Double layer Model. Can. Geotech. J. 31: 624-636.
17. Sun, Z.J., Young G.D., McFarlane R., Chambers B.M., 2000. The effect of soil electricalconductivity on moisture determination using time domain- reflectometry in sandy soil.Can. J. Soil Sc. 80(1): 13–22.
18. TE, 2016. Technology of shrinkable products. (http://woer.ir).
19. Topp, G.C., Davis, J.L., and Annan, A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil watercontent: Measurement in coaxial transmission lines. Water Res. Res. 16:574- 5 82.
20. White, I., Knight, J.H., Zegelin, S.J., and Topp, G.C. 1994, Comments on ‘Consideration on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content’ by W.R. Whalley.Euroe. J. Soil Sci. 45: 503-508.
21. Wyseure, G.C.L., Mojid, M.A., Malik, M.A., 1997. Measurement of volumetric water content by TDR in saline soils. Eur. J. Soil Sci. 48: 347–354.
22. Tokova, L., Dušan Igaz, D. Elena Aydin, E. 2019. Measurement of volumetric water content by gaavimetric and time domain reflectometry methods at field experiment with biochar and N fertilizer, Acta Horticulturae et Regiotecturae 2, Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, pp. 61–64.
23. TRASE SYSTEM manual (1996) For Soil Moisture Measurement Version 2000 Software (e-mail: sales@soilmoisture.com • Web: http://www.soilmoisture.com)

The possibility of measuring the water content of saline fine textured soils by time domain reflectometry

D.Niknezhad*
Research and Education Center for Agricultural and Natural Resources of East Azarbaijan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tabriz, Iran: Niknezhad2005@yahoo.com ،Niknezhad2006@gmail.com

Received: September 10, 2023 and Accepted: June 2, 2024

Abstract

Measurement of soil water content is done by different methods, which can be referred to methods such as oven method, gamma ray, and time reflectometry methods. Direct methods are time-consuming and lead to handling of the soil sample, and some indirect methods have risks of radiation of radioactive materials. Among these methods, the TDR method, which is one of the reflectometry methods, is a quick and safe method, it has been given attention for this reason and it gives acceptable results in soils with normal conditions. But for saline soils, this method is not able to measure soil water content accurately. The objective of this research is to construct sensors that the TDR device can use to measure the water content of saline and fine textured soils. By making these sensors, it is possible to measure the water content of saline soils with a TDR device, and if an error is observed, the actual amount of soil water content can be obtained by providing suitable calibration models. For this purpose, a fine textured soil was prepared from Tikmehdash research station and by adding different amounts of salt to it, soil samples with electrical conductivity of 20, 35 and 50 dS/m with natural density were prepared. After determining the type of coating suitable for covering the moisture sensor rod, which is a polymer material, through trial and error, the length of the coating used in the middle moisture sensor rod was determined for the mentioned soil with the prescribed salinities in certain water content, which was equal to a length of the moisture sensor rod. Then, the coated sensors were tested to measure other soil water contents, and suitable calibration models were presented. Therefore, by measuring the soil water contents using the TDR method, the water content of fine-textured saline soils can be predicted from the models.

Key words: coating, polymer, moisture sensor, calibration, reflectometry

*- Corresponding author's email: Niknezhad2005@yahoo.com