

# امکان اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک‌های ریزبافت شور به روش انعکاس سنج تأخیر زمانی

داود نیک‌نژاد\*

مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران آدرس ایمیل:  
[niknezhad2005@yahoo.com](mailto: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 که جزو روش‌های انعکاس‌سنجی زمانی می‌باشد 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 در 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 یکمه‌دانش 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، با 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 دیگر رطوبت‌های خاک آزمایش شد و مدل‌های واسنجی مناسب به دست آمد. 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.

واژه‌های کلیدی: روکش، حسگر رطوبتی، واسنجی، انعکاس‌سنجی

\*-آدرس ایمیل نویسنده مسئول: [niknezhad2005@yahoo.com](mailto:niknezhad2005@yahoo.com)



## مقدمه

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 (از جمله 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 از جمله 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 کیلومتر مربع 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)).

(۱)

$$\theta_v = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \times k - 5.5 \times 10^{-4} \times k^2 + 4.3 \times 10^{-6} \times k^3$$

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 دست‌نخورده‌گی خاک است (هونداما و همکاران، ۲۰۲۰). به کمک روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت خاک از جمله روش انعکاس‌سنجی تأخیر زمانی (TDR)، انعکاس‌سنجی تأخیر فرکانسی (FDR<sup>۱</sup>) و مقاومت‌سنجی که رطوبت خاک را بر اساس برخی از شاخص‌های الکتریکی خاک از جمله 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 مور نظر ارسال نمود تا بر اساس موارد ارسالی مدیریت لازم در خصوص زمان آبیاری، تغذیه گیاه و غیره صورت گیرد (پانادی و همکاران، ۲۰۱۸).

روش‌هایی مانند تترپروب، FDR و TDR که روش‌های نسبتاً جدیدی در اندازه‌گیری رطوبت خاک هستند روش‌های سریع و بی‌خطر بوده و مقدار رطوبت حجمی خاک را بدون دست‌خورده‌گی خاک بر اساس ویژگی‌های استثنایی آب از جمله 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 از جمله

دی‌الکتریک خیلی کم (۳/۲) تعیین شده است (اور و راث، ۱۹۹۹). آب پیوندی<sup>۱</sup> مانع از قطبی شدن مولکول‌های آب به وسیله 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 رسانایی سنج 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 روکش دار 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

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

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<sup>۱</sup> 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.

$$\theta_v = \frac{k^\beta - (1-n)k_s^\beta - nk_a^\beta}{k_w^\beta - k_a^\beta} \quad (2)$$

که در آن  $n$  تخلخل خاک ( $m^3 m^{-3}$ )،  $k_s$ ،  $k_a$  و  $k_w$  به ترتیب ثابت دی‌الکتریک هوا، خاک خشک و آب است.  $\theta$  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 در نتیجه 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 و 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

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 مدل 6005L 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

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 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. عبدالله 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 میسر 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

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 صحرائی 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 تیکمه‌دش واقع در استان آذربایجان شرقی 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 به طوری که محور افقی نمودار،

وزن نمک بر حسب گرم و محور عمودی آن را رسانایی الکتریکی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر تشکیل می‌داد. از روی نمودار یا معادله رگرسیون به دست آمده می‌توان مقدار نمک مورد نیاز برای رسانایی الکتریکی مشخص در خاک مورد نظر را محاسبه نمود.

### انتخاب پوشش مناسب برای روکش دار کردن

#### حسگر رطوبتی

از آنجایی که حسگر دفنی معمولی برای اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، رطوبت اندازه‌گیری شده با این حسگر توسط دستگاه TDR، دیگر با پیام خطا مواجه نمی‌شود منتها مقدار رطوبت خاک را گاهی بیش از دو برابر نشان می‌داد که قابل اعتماد نبود. در نتیجه با استفاده از مهندسی معکوس در ساخت این حسگر از نمونه اصلی که ساخت شرکت Equipment Soil moisture 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 از جمله 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

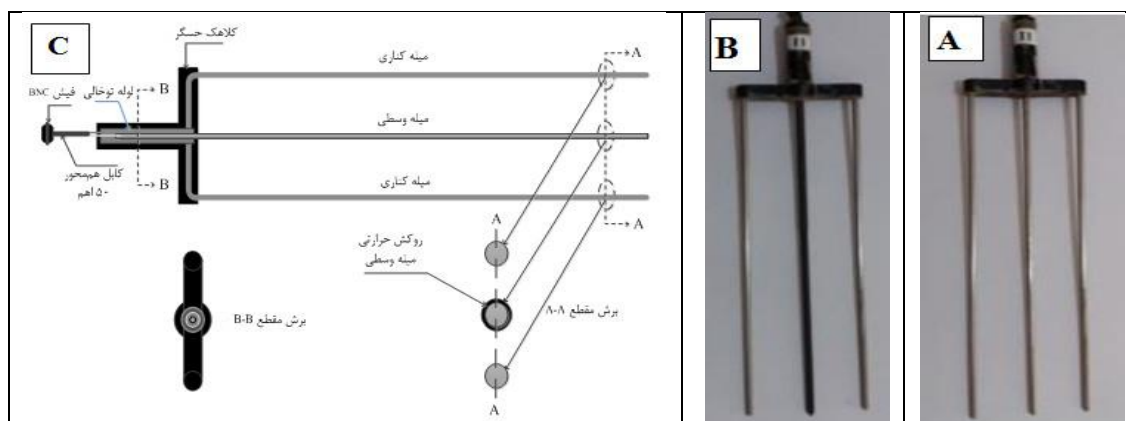
به روکش حرارتی معروف است و از نوعی پلی‌الفین جمع‌شونده یا انعطاف‌پذیر تهیه شده است برای روکش کردن میله حسگر مناسب است.

شیرینگ‌های حرارتی مورد استفاده در این پژوهش تک لایه و مشکی رنگ بوده که از پلی‌الفین ویژه پیوند متقابل<sup>۱</sup> 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 جمع‌شوندگی 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).

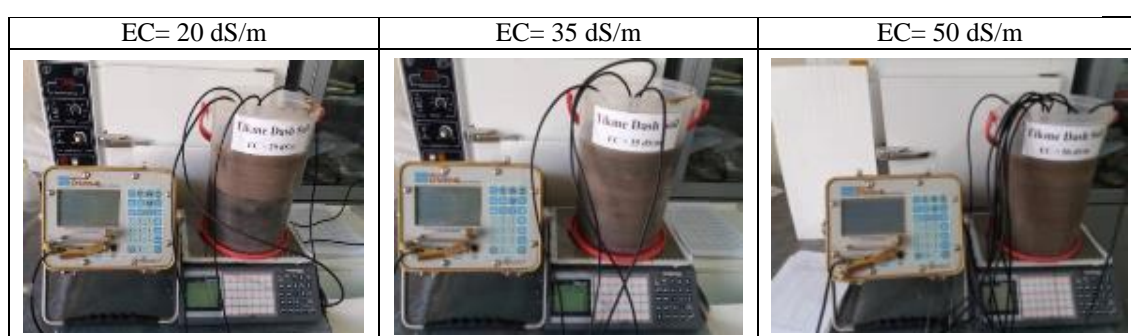
### ساخت حسگر رطوبتی روکش دار

با توجه به پیش‌آزمایش‌های صورت گرفته از میان گزینه‌های موجود بهترین گزینه برای روکش دار 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 به دلیل 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 روکش دار 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 روکش دار 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 در نتیجه نه عدد حسگر رطوبتی دفنی روکش دار 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.



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 تیکمه‌دانش (ریزبافت) در مقادیر رسانایی الکتریکی ۲۰، ۳۵ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر

### واسنجی حسگرهای رطوبتی روکش دار شده

از آنجایی که حسگرهای روکش دار 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.

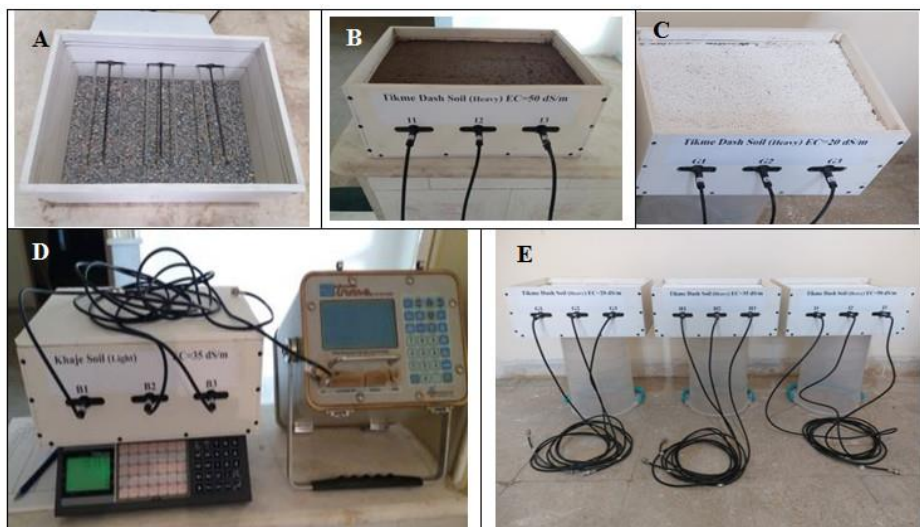
برای این منظور از جعبه‌هایی از جنس عایق استفاده شد که به ترتیب دارای طول، عرض و عمق ۳۵، ۲۵ و ۱۴ سانتی‌متر بود. با توجه به اینکه قرار بود در هر ظرف سه عدد حسگر رطوبتی نصب شود و برای هر سطح شوری یک ظرف در نظر گرفته شود سه عدد جعبه با ابعاد

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)

### 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.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های خاک

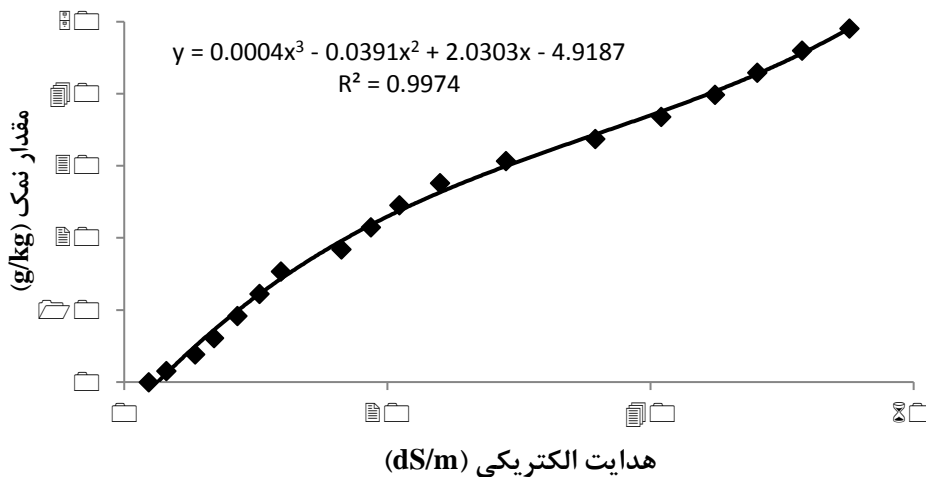
جدول یک برخی از ویژگی‌های فیزیکی و

شیمیایی خاک مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

مورد	مختصات محل (UTM)		عمق m	EC dS/m	pH	کربن آلی %O.C	$\rho_b$ g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	FC % وزنی	PWP % وزنی	Sand %	Silt %	Clay %	بافت
	X	Y												
نمک‌دانش	۶۷۰۱۲۰	۴۱۷۹۱۳۲	۳۰	۳۰	۸/۲	۰/۵	۱/۲۸	۲/۵۴	۳۸/۶۷	۲۰/۰۳	۳۷	۲۹	۳۴	لوم رسی





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

= 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.

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

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

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.

#### 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

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

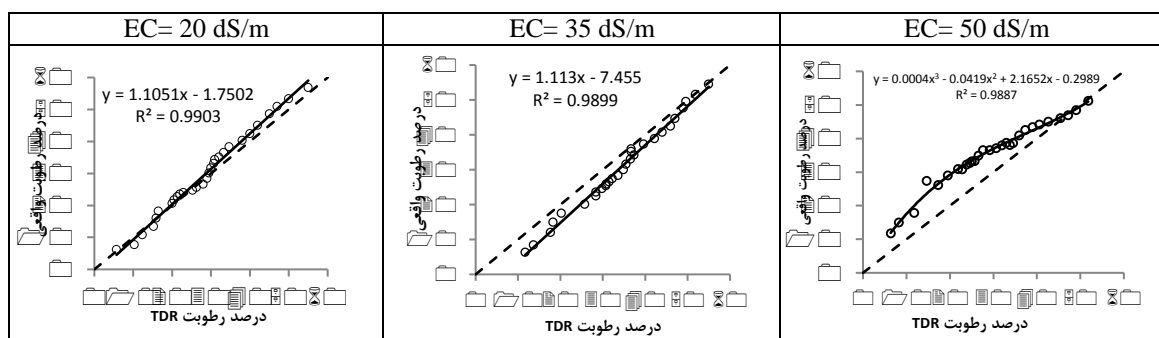
محل نمونه برداری خاک	بافت خاک	رسانایی الکتریکی (dS/m)	مقدار روکش حرارتی نصب شده برای میله وسطی حسگر
ایستگاه		۲۰	یک لایه کامل
تیکمه‌داش	ریزبافت	۳۵	یک لایه کامل
		۵۰	یک لایه کامل

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 دسی‌زیمنس 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 ۵۰ dS/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 خط چین 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

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.

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

## مقایسه مقدار رطوبت واقعی با رطوبت اندازه‌گیری شده به روش TDR

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.

با توجه به (جدول ۴) برای خاک ریزبافت (خاک تیکمه‌دش) 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

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

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 گاه‌بیش از دو برابر مقدار واقعی بود. بنابراین، با توجه به توضیحات مذکور امکان اندازه‌گیری رطوبت خاک‌های شور و خیلی شور (حتی بیش از ۵۰ dS/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.

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

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. کلاتری اسکوئی، ع. کمالی، ک. خانی، م. میرمحمدی، ه. 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 Geoscience and Remote Sensing. 23:35-46.
9. Hook, W.R. and Livingston, N.J., 1995. Propagating Velocity Errors in Time Domain Reflectometry 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 electrical conductivity 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 water content: 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](mailto:sales@soilmoisture.com) Web: <http://www.soilmoisture.com>)

## Possibility of Measuring Water Content of Fine Textured Saline 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,

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

### Abstract

Soil water content is measured by different methods, such as oven, gamma ray, and time reflectometry methods. Direct methods are time-consuming and lead to disturbance of the soil sample, and some indirect methods have risks of radioactive materials. Among these methods, the TDR method, which is one of the reflectometry methods, is a quick and safe method, and has received attention for this reason and gives acceptable results in soils with normal conditions. However, for saline soils, this method cannot measure water content accurately. The objective of this research was to make TDR sensors that can measure the water content of saline and fine-textured soils. By making these sensors, it would be possible to measure water content of saline soils by a TDR; 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 obtained from Tikmehdash Research Station and by adding different amounts of salt, soil samples with electrical conductivity of 20, 35 and 50 dS/m with natural density were prepared. Through trial and error, the type of coating suitable for covering the moisture sensor rod, which is a polymer material, was determined. Then, the length of the coating used in the middle moisture sensor rod was determined for the mentioned soil that had the prescribed salinities and water content. This length was equal to the length of the moisture sensor rod. Then, the coated sensors were tested to measure other soil water contents, and suitable calibration models were presented. Thus, by entering into the models the volumetric moisture content measured by TDR, the moisture content of fine-textured saline soils can be estimated with good accuracy.

**Keywords:** Coating, Moisture sensor, Calibration, Reflectometry

---

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

