نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، ص. ۸۴-۷۳

Water Management in Agriculture
Vol. 10, No. 2 Autumn And Winter 2024, 73-84

مقاله علمی-پژوهشی

اثرات بافت و اصلاح‌کننده زایتونیک بر دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک با روش انعکاس سنجی زمانی

صابر جمالی[۱]، فرشته رحیمی آغ‌چشمه[۲] و محمدجواد امیری[۳*]

چکیده

با توجه به افزایش استفاده از زایتونیک به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک، در این پژوهش به واسنجی دستگاه TDR جهت بهبود دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک در شرایط استفاده از زایتونیک همراه با بافت خاک بر اساس روش وزنی (روش مستقیم) پرداخته شد. این تحقیق در شرایط گلخانه‌ای در سه نوع خاک (رس سیلتی، لوم رسی و لوم شنی) و در ۲ سطح زایتونیک (صفر و یک کیلوگرم در مترمربع) و در سه تکرار انجام شد. بر اساس نمودار همسانی (۱:۱) ترسیم‌شده برای نتایج روش TDR و روش حجمی، بیشترین و کمترین همسانی بین دو روش به ترتیب در تیمارهای لوم رسی + زایتونیک (با ضریب تبیین ۰/۹۸) و رس سیلتی + تیمار شاهد (با ضریب تبیین ۰/۸۷) مشاهده شد. نتایج نشان داد که دستگاه TDR در اندازه‌گیری رطوبت در بافت لوم رسی دقت بالایی دارد. نتایج آنالیز رگرسیون بین مقادیر اندازه‌گیری شده با روش TDR (Θ_{TDR}) و روش حجمی (Θv) نشان‌دهنده همبستگی بالا بین مقادیر رطوبت در دو روش در تیمارهای رس سیلتی + زایتونیک (R2=0.92)، لوم رسی + زایتونیک (R2=0.98) و لوم شنی + زایتونیک (R2=0.96) است. نتایج نشان داد که افزایش زایتونیک منجر به افزایش دقت دستگاه در بافت موردبررسی شده است؛ بنابراین، نتایج این پژوهش ضرورت استفاده از خصوصیات خاک برای اندازه‌گیری محتوای آب خاک در شرایط مختلف توسط TDR را تأیید می‌کند و همچنین نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌هایی می‌توان از این دستگاه برای اندازه‌گیری رطوبت در خاک‌های با رس بالا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: TDR، رطوبت حجمی، روش غیرمستقیم، زایتونیک، لوم رسی

مقدمه

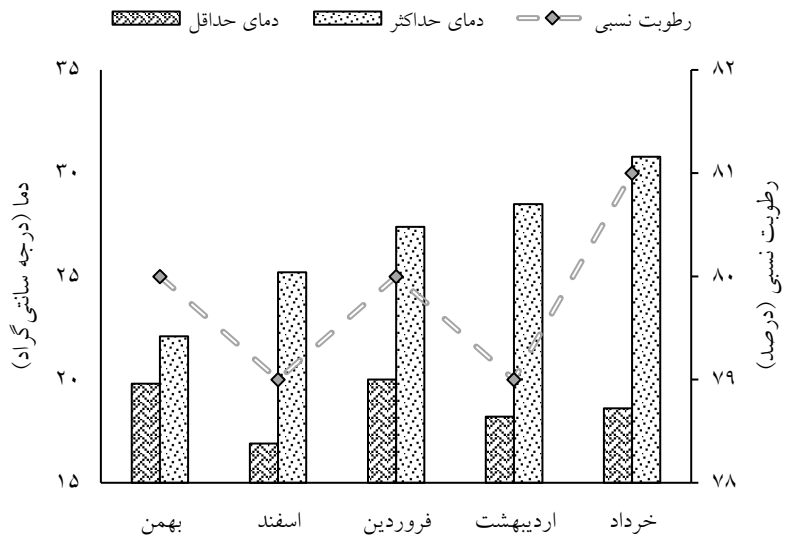
۱ از اساسی‌ترین منابع موردنیاز برای جامعه بشری، آب است که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم (از طریق تولید مواد غذایی توسط گیاهان و جانوران) توسط انسان مصرف می‌شود (عالی نژادیان بیدآبادی و همکاران، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر تقاضا برای مصرف آب به دلیل رشد روزافزون جمعیت جهان و افزایش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و همچنین خشک‌سالی‌های پی درپی افزایش‌یافته است و درنتیجه فشار بسیار زیادی بر منابع آب وارد گشته و از کیفیت آن‌ها کاسته است (جمالی و شریفان، ۱۳۹۹)، ازاین‌رو استفاده بهینه از آب موجود و صرفه‌جویی در مصرف آب، با توجه به محدودیت‌های منابع آب باکیفیت و ارزش آب در حصول امنیت غذایی، امری ضروری است. در شرایط کنونی منابع آب کشور، افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی ازجمله مهم‌ترین اهداف در بخش کشاورزی است (ایران‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). ازاین‌رو تشخیص دقیق رطوبت

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۲] دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۳] دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران (*نویسنده مسئول: mj_amiri@fasau.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۱

خاک و اندازه‌گیری آن، با توجه به اهمیت رطوبت خاک در مدیریت آب در مزرعه و جلوگیری از خسارات و ضررهای اقتصادی و زیست‌محیطی، بیش‌ازپیش ضروری به نظر می‌رسد (صفری زاده ثانی و همکاران، ۱۴۰۰). روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری آب در خاک وجود دارد که دارای دو تقسیم‌بندی مستقیم (روش وزنی که دارای دقت بسیار بوده ولی وقت‌گیر است) و غیرمستقیم (بلوک گچی، تانسیومتر، TDR، اشعه گاما، نوترون متر و تتاپروب) است که هر یک ملزم به رعایت نکات ایمنی است (علیزاده، ۱۳۹۳). در پژوهش‌های بسیاری به اثر عوامل محیطی بر روی دقت اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از دستگاه‌های ذکرشده در بالا پرداخته‌شده که به‌اختصار به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌گردد. در پژوهشی که به‌منظور بررسی دقت نتایج رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR انجام شد، نتایج نشان داد که افزایش رس خاک و ماده آلی به خاک منجر به کاهش دقت مقادیر اندازه‌گیری شده با دستگاه TDR شده است، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان خطای نسبی در تیمارهای بافت شنی + ۲ درصد ماده آلی (۳/۹۷ درصد) و بافت لوم رسی + ۵ درصد ماده آلی (۱۱/۷۹ درصد) مشاهده شد (کشاورزی حسن‌آباد و همکاران، ۱۳۹۱). مزیدی و معروف پور (۱۳۹۲) نشان دادند که افزودن ماده آلی به بافت‌های خاک (لوم شنی، لوم و لوم رسی شنی) منجر به کاهش دقت رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه TDR در مقایسه با روش وزنی شده است. نتایج این تحقق بیان کرد که افزودن ماده آلی به خاک منجر به افزایش RMSE شده و از دقت دستگاه کاسته شده است. در پژوهشی دیگر نتایج نشان داد که افزایش میزان رس خاک منجر به کاهش دقت در اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR شده است (فراستی و رحمانی، ۱۳۹۵). نتایج پژوهش صفری زاده ثانی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که دستگاه در خاک لوم شنی در تمامی سطوح آب مغناطیسی دارای بیشترین دقت بوده (به ترتیب در آب چاه، ۰/۳ و ۰/۶ تسلا دارای RMSE برابر با ۱۵/۲، ۳/۳ و ۲/۵) و با افزایش میزان رس در خاک از دقت دستگاه کاسته شده است. بر اساس نمودار همسانی ترسیم‌شده برای نتایج روش TDR و روش حجمی، بیشترین و کمترین همسانی بین دو روش به ترتیب در تیمارهای خاک با بافت لوم شنی و استفاده از آب مغناطیسی ۰/۶ تسلا (با ضریب تبیین ۰/۹۲) و خاک با بافت لوم رسی و استفاده از آب چاه (با ضریب تبیین ۰/۴۲) مشاهده شد. نتایج ایشان نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری منجر به افزایش دقت دستگاه در بافت‌های موردبررسی شده است. فارس و همکاران نشان دادند که افزایش ماده آلی منجر به کاهش دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از حس‌گرهای اندازه‌گیری رطوبت خاک شده است (Fares et al., 2016). در پژوهشی که در کشور اسلواکی که توسط توکوا و همکاران به‌منظور بررسی اثر مواد معدنی و آلی بر دقت اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از TDR انجام شد، نتایج نشان داد که افزودن مواد آلی و معدنی به خاک منجر به بهبود در دقت اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از TDR در مقایسه با روش وزنی شده است (Tokova et al., 2020). در پژوهشی دیگر که باهدف تعیین دقت اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه TDR در ایالت‌های مختلف آمریکا انجام شد، نتایج نشان داد که در ایالت آلاباما با خاکی که دارای ۵۷/۵ درصد رس بود، میزان ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر با ۰/۲ و ۰/۱۳ بود. در ایالت کارولینای جنوبی با خاکی درشت‌بافت که دارای ۵/۰ درصد رس بود، مقادیر ضریب تبیین و RMSE به ترتیب برابر ۰/۹۸ و ۰/۰۴ بود. محققین اظهار داشتند که افزایش میزان رس موجود در خاک یا به‌عبارت‌دیگر در بافت‌های ریز تر، از دقت اندازه‌گیری دستگاه در ایالت‌های مختلف کاسته شده است (Wilson et al., 2020). همه خصوصیات خاک مانند پایداری، ظرفیت تراکم‌پذیری، نفوذپذیری و قابلیت انتقال تابعی از آب موجود در آن است. بررسی رطوبت و قوانین حاکم بر این‌که رطوبت خاک چه مقدار بوده و چه درصدی از آن برای گیاه قابل‌استفاده است، از موضوعات مهم رابطه آب‌وخاک است (فراستی و رحمانی، ۱۳۹۵). ازاین‌رو در پژوهش حاضر اثر متقابل اصلاح‌کننده خاک (صفر و یک کیلوگرم در مترمربع زایتونیک (به توصیه شرکت سازنده)) و بافت مختلف خاک (رس سیلتی، لوم رسی و لوم شنی) در برآورد دقت اندازه‌گیری دستگاه TDR تحت شرایط گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در زمستان ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد با مختصات جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی، ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۵۸ متر از سطح دریا انجام شد. به‌منظور بررسی دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR و به‌صورت فاکتوریل دوعاملی (بافت خاک و زایتونیک) در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. فاکتورهای موردبررسی شامل ۲ سطح زایتونیک به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده خاک (شاهد (صفر) و یک کیلوگرم در مترمربع زایتونیک) و سه بافت خاک (رس سیلتی، لوم رسی و لوم شنی) بود. دما و رطوبت نسبی محل آزمایش در شکل (۱) ارائه‌شده است پس از تهیه خاک‌های با بافت‌های رس سیلتی، لوم رسی و لوم شنی، مقدار مشخصی خاک به‌صورت تدریجی و در لایه‌های پنج سانتی‌متری همراه باکوبش با توجه به چگالی ظاهری هر بافت و جهت جلوگیری از نشست خاک، درون ۱۸ گلدان پلاستیکی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که دارای زهکش انتهایی بود، ریخته شد. ابتدا در کف گلدان‌ها به ضخامت ۳ سانتی‌متر سنگ‌ریزه به‌عنوان پالایه جهت بهبود زهکشی و تهویه ریخته شده و ۵ سانتی‌متر بالایی برای آبیاری خالی در نظر گرفته شد و بقیه حجم خالی از خاک پر شدند (قبل از انجام آزمایش کل خاک مورداستفاده در آزمایش در آون و در دمای ۱۰۵ درجه و به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید.). به‌منظور از بین بردن شوری و جلوگیری از تشکیل پاکت هوا در خاک، گلدان‌ها را با آب شهری اشباع کرده و اجازه داده شد که آب از زهکش‌های آن خارج شود. برای جلوگیری از جریان ترجیحی، در بدنه گلدان‌ها از ماسه و چسب استفاده شد. ترکیبات شیمیایی و فیزیکی هر یک از بافت‌های خاک موردبررسی در جدول (۱) ارائه‌شده است. زایتونیک نوعی اصلاح‌کننده خاک و کود آلی ساخت شرکت Zydex هند بوده که از شرکت اکسیر شرق مشهد تهیه شد و در این پژوهش مورداستفاده قرار گرفت. زایتونیک مورد استفاده ازنظر شیمیایی دارای مواد آلی (۷۵-۷۰ درصد)، مواد معدنی (۱۴-۱۲ درصد)، پتاسیم هیومات (۱۲-۱۰ درصد) و آب (۵-۲ درصد) و ازنظر فیزیکی دارای رنگ خاکستری و بی‌بو است (جمالی و شریفان، ۱۳۹۹). در جدول (۲) کیفیت آب مورداستفاده ارائه‌شده است.



شکل ۱- تغییرات دما و رطوبت نسبی محل مورد مطالعه

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

پارامتر	بافت خاک	شن	سیلت	رس	چگالی ظاهری	درصد حجمی ظرفیت زراعی	درصد حجمی پژمردگی دائم	هدایت الکتریکی	pH
		درصد			گرم بر سانتی مترمکعب	درصد		دسی زیمنس بر متر	
روش اندازه‌گیری		هیدرومتری			استوانه‌ای	صفحات فشاری		هدایت سنج الکتریکی	pH متر
مقدار	سیلتی رسی	۸	۵۰	۴۲	۱/۲	۳۲/۸	۱۱/۶	۱/۲۵	۷/۸۵
	لوم رسی	۳۷	۳۳	۳۰	۱/۳۴	۲۸/۳	۱۳/۴	۱/۴۶	۷/۵۸
	لوم شنی	۵۴	۳۰	۱۶	۱/۴۷	۲۴/۲	۱۵/۹	۱/۳۵	۷/۶۴

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

SAR	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	HCO_3^-	EC	pH
	میلی اکی والانت بر لیتر							دسی زیمنس بر متر	
۲/۷۱	۱	۰/۲۷	۰/۴۸	۴/۴	۲/۸	۰/۷	۷	۱/۲۳	۸/۲

اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR

در این پژوهش داده‌برداری با استفاده از دستگاه TDR و به مدت یک ماه در سه‌نقطه از هر تکرار انجام شد. در انتها، میانگین ۳ برداشت به‌عنوان داده هر یک از گلدان‌ها در هر بار داده‌برداری یادداشت شد. در بافت‌های مختلف برای کنترل دقت دستگاه مذکور از روش وزنی استفاده گردید. برای اندازه‌گیری رطوبت وزنی نمونه‌ها در هرروز، گلدان‌ها توزین شده (با دقت ۰/۰۱ گرم) و تغییرات میزان آب خاک گلدان‌ها، اندازه گرفته شد (دیانت مهارلویی و همکاران، ۱۳۹۸؛ جمالی و همکاران، ۱۳۹۸). برای این منظور با توجه به کاهش رطوبت گلدان‌ها به‌صورت هوا خشک و تا زمان رسیدن رطوبت آن به Θc، اندازه‌گیری انجام شد (قائدی و همکاران، ۱۳۹۷) و بر اساس رطوبت گلدان‌های شاهد آبیاری زمانی انجام می‌شود که رطوبت‌های گلدان‌های شاهد به حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول (Θc) برسد.

زمان آبیاری و میزان آب آبیاری با استفاده از رابطه (۱) و (۲) تعیین شد (جعفری کیا و همکاران، ۱۳۹۹).

$$\theta_c = \theta_{fc} - 0.5 \times (\theta_{fc} - \theta_{PWP}) \quad (۱)$$

$$D = \frac{D_{rz} \times (\theta_{fc} - \theta_c)}{100} \quad (۲)$$

در رابطه (۱) و (۲) پارامترهای Θfc، ΘPWP، Drz و D به ترتیب بیانگر رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده در حد ظرفیت زراعی (cm3cm-3)، رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده در حد پژمردگی دائم (cm3cm-3)، عمق گلدان (cm) و عمق آب آبیاری (cm) است.

تحلیل آماری و ارزیابی نتایج

در این پژوهش، از پارامترهای آماری ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۳) و همچنین ضریب تبیین (R2)، برای بررسی میزان همسانی و میزان خطای روش اندازه‌گیری رطوبت با TDR و روش مستقیم (وزنی) استفاده شد. میزان خطای نسبی نیز با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (بلابادی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Wanniarachichi et al., 2019).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n(\theta_{TDR} - \theta_v)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$RE = \frac{\frac{\sum_1^n|\theta_v - \theta_{TDR}|}{n}}{\bar{\theta}_v} \quad (۴)$$

در رابطه فوق Θv رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده از رابطه (۵) (cm3cm-3)، ΘTDR رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR (cm3cm-3)، $\bar{\theta}_v$ متوسط رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده (cm3cm-3) و n تعداد مشاهدات است. با استفاده از رابطه ۵ مقدار رطوبت وزنی به رطوبت حجمی تبدیل می‌شود.

$$\theta_v = \rho_b \times \theta_m \quad (۵)$$

در رابطه فوق ρ_b چگالی ظاهری خاک و θ_m رطوبت وزنی اندازه‌گیری شده (cm3cm-3) است. جهت ترسیم نمودارهای مرتبط با هر یک از تیمارهای موردبررسی از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

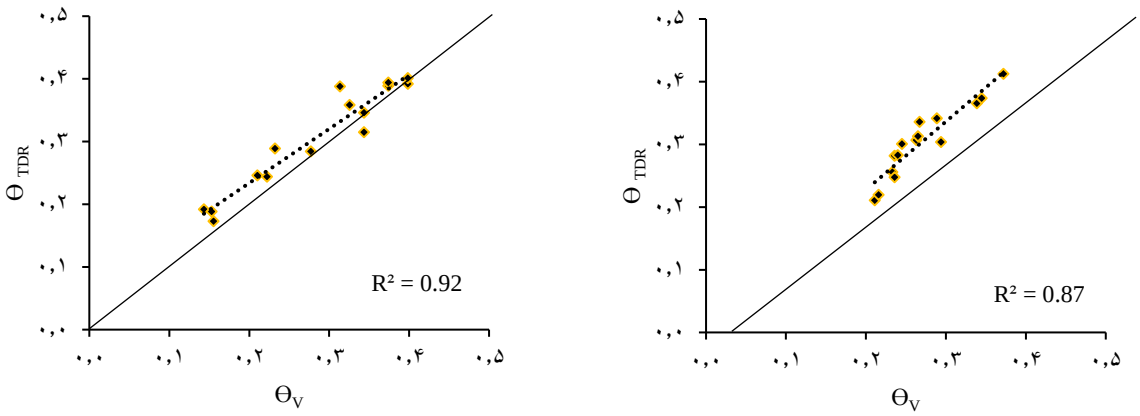
نتایج و بحث

جدول (۳) ارزیابی آماری رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از روش وزنی و محاسبه‌شده با TDR را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول (۳) میزان از RMSE در بافت خاک رس سیلتی در شرایط استفاده از زایتونیک نسبت به تیمار شاهد کمتر بوده و تیمار شاهد با ۰/۰۴۶ سانتی‌متر مکعب در سانتی‌متر مکعب مقدار بیشتری از این شاخص آماری را به خود اختصاص داده است. افزایش رس موجود در بافت خاک بر اساس نتایج این جدول منجر به افزایش مقدار RMSE برای مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت خاک شده است. بر اساس نتایج جدول (۳) افزودن زایتونیک به خاک منجر به بهبود در دقت رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR شده و از میزان اختلاف بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده با روش وزنی کاسته شده است. خطای نسبی حاصل از اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از TDR در خاک رس سیلتی در تیمار شاهد و استفاده از زایتونیک به‌ترتیب برابر با ۱۳/۹ و ۱۰/۳ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقادیر RMSE و خطای نسبی (RE) برای مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت در شرایط اعمال زایتونیک و بافت‌های خاک

زایتونیک	RMSE سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب			RE درصد		
	رس سیلتی	لوم رسی	لوم شنی	رس سیلتی	لوم رسی	لوم شنی
شاهد	۰/۰۴۶	۰/۰۳۹	۰/۰۳۳	۱۳/۹	۱۲/۵	۱۴/۴
یک کیلوگرم در مترمربع	۰/۰۳۴	۰/۰۲۲	۰/۰۲۷	۱۰/۳	۹/۵	۱۱/۲

بیشترین میزان انحراف از خط ۱:۱ و مقادیر اندازه‌گیری شده بین دو روش وزنی و TDR بر اساس شکل (۲)، در خاک رس سیلتی در تیمار شاهد با ضریب تبیین برابر با ۰/۸۷ مشاهده شد، همچنین کمترین میزان نیز با ضریب تبیین برابر با ۰/۹۲ در تیمار استفاده از زایتونیک مشاهده شد. در بافت خاک رس سیلتی مطابق با شکل (۲) استفاده از یک کیلوگرم در مترمربع زایتونیک منجر به کاهش میزان انحراف از خط ۱:۱ نسبت به تیمار شاهد در همین بافت ($R2 = 0.92$) در بین دو روش اندازه‌گیری رطوبت خاک شده است.

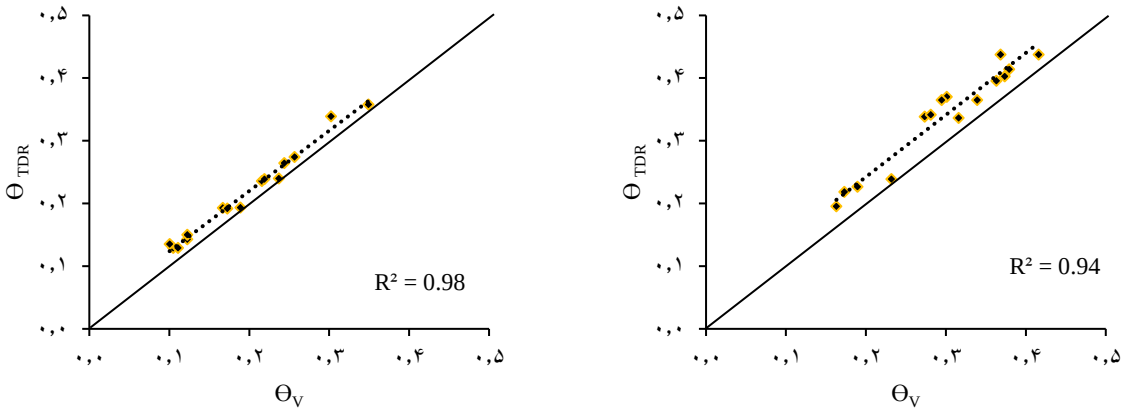


استفاده از زایتونیک (ب) **شاهد (الف)**

شکل ۲- مقایسه رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده با مقادیر اندازه‌گیری شده با TDR در بافت رس سیلتی

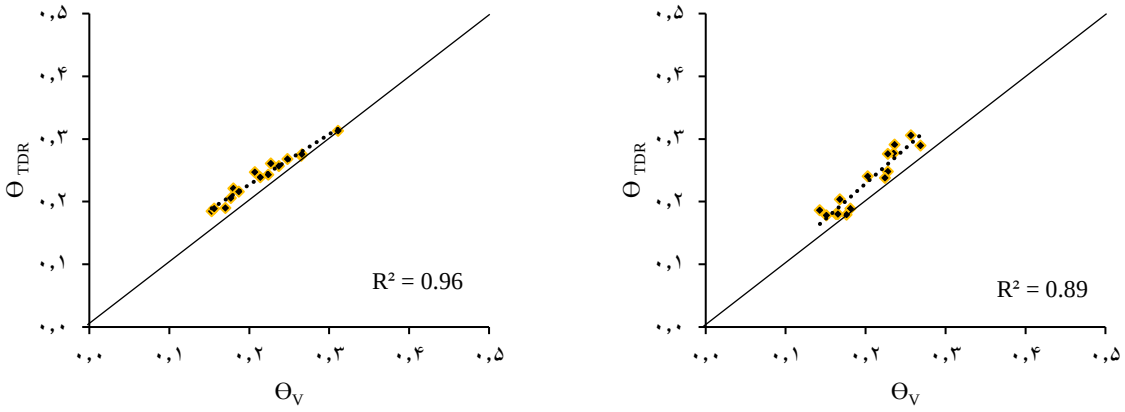
در بافت خاک لوم رسی در شرایط اعمال زایتونیک مشابه خاک رس سیلتی مقدار شاخص آماری RMSE کمتر از شرایطی بود که از این اصلاح‌کننده استفاده شد. در شرایط اعمال اصلاح‌کننده خاک زایتونیک به میزان یک کیلوگرم در مترمربع شاخص آماری RMSE با مقدار ۰/۰۲۲ سانتی‌متر مکعب در سانتی‌متر مکعب مقدار رطوبت را نسبت به عدم استفاده از این اصلاح‌کننده را با دقت بیشتری برآورد می‌کند (جدول ۳). در بافت‌های سبک‌تر استفاده از زایتونیک سبب بهبود در دقت اندازه‌گیری شده است، به‌طور مثال در شرایط استفاده از زایتونیک در بافت لوم رسی مقدار RMSE از ۰/۰۳۹ به ۰/۰۲۲ کاهش یافته است. در خاک لوم رسی در شرایط بهره‌گیری از زایتونیک به‌عنوان اصلاح‌کننده‌ی خاک خطای نسبی برآورد رطوبت خاک برابر با ۹/۵ درصد بود (جدول ۳). در بافت خاک لوم رسی بر اساس نتایج شکل ۳، بیشترین و کمترین میزان انحراف از خط ۱:۱ و بر اساس ضریب تبیین در تیمارهای شاهد و استفاده از زایتونیک به‌ترتیب با مقدار ۰/۹۴ و ۰/۹۸ مشاهده شد. در بافت خاک لوم رسی استفاده از زایتونیک سبب بهبود در نتایج رطوبت اندازه‌گیری شده نسبت به تیمار شاهد شده است (نتایج ارتقای ۴ درصدی دقت برآورد را نشان می‌دهد). نتایج نشان‌دهنده‌ی بیش‌برآوردی رطوبت خاک اندازه‌گیری شده با استفاده از TDR مورد استفاده است، به‌طوری‌که در بافت لوم رسی استفاده از زایتونیک سبب بهبود نتایج شده است.

در بافت خاک لوم شنی نیز وضعیت مشابهی با دو بافت دیگر در شرایط اعمال زایتونیک جهت برآورد مقدار رطوبت مشاهده شد، به‌طوری‌که مقدار شاخص آماری RMSE در این بافت برابر با ۰/۰۲۷ سانتی‌متر مکعب در سانتی‌متر مکعب بود (جدول ۳). بر اساس نتایج جدول (۳) بیشترین میزان اختلاف در اندازه‌گیری رطوبت بین روش وزنی و TDR (خطای نسبی) در تیمارهای لوم شنی + شاهد (۱۴/۴ درصد) مشاهده شد. نتایج نشان داد که افزودن زایتونیک به خاک سبب کاهش در اختلاف در قرائت دو روش اندازه‌گیری رطوبت در تمامی بافت‌ها شده است، به‌عبارت‌دیگر در سه بافت خاک مورد بررسی افزودن زایتونیک به خاک باعث کاهش خطای نسبی اندازه‌گیری رطوبت خاک شده است. در شکل ۴ نیز نتایج نشان از بیش‌برآوردی رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از TDR در بافت لوم شنی است. در بافت لوم شنی نیز استفاده از اصلاح‌کننده‌ی زایتونیک سبب بهبود در برآورد رطوبت شده است.



شاهد (الف) **استفاده از زایتونیک (ب)**

شکل ۳- مقایسه رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده با مقادیر اندازه‌گیری شده با TDR در بافت لوم رسی



شاهد (الف) **استفاده از زایتونیک (ب)**

شکل ٤- مقایسه رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده با مقادیر اندازه‌گیری شده با TDR در بافت لوم شنی

با درشت‌تر شدن بافت خاک، میزان انحراف نتایج رطوبت اندازه‌گیری شده با روش وزنی و روش TDR با شیب بیشتری، کاهش می‌یابد (در خاک لوم رسی و لوم شنی میزان RMSE برابر با ۰/۰۳۹ و ۰/۰۳۳) و نتایج این دستگاه در بافت‌های درشت‌تر نسبت به بافت خاک‌ریز (رس سیلتی با RMSE=0.046) دارای دقت بیشتری است؛ نتایج نشان داد که افزایش زایتونیک به خاک در بافت لوم شنی بر روی دقت اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه TDR اثر کمتری نسبت به بافت لوم رسی داشت که دلیل آن می‌تواند کم بودن نگهداشت آب در این بافت خاک در مقایسه با بافت دیگر باشد که منجر به کاهش عدد رطوبت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه می‌گردد (کشاورزی حسن‌آباد و همکاران، ۱۳۹۲؛ فراستی و رحمانی، ۱۳۹۵).

نتایج جدول (۳) نشان داد که استفاده از زایتونیک در خاک سبب افزایش همبستگی و دقت بین مقادیر رطوبتی روش حجمی و رطوبت قرائت‌شده به‌وسیله دستگاه TDR است. با توجه به مقدار خطا ۲ ± درصد که در کاتالوگ دستگاه ذکرشده

است، به دلیل اختلاف زیاد بین مقادیر اندازه‌گیری شده با روش وزنی و TDR و همچنین بالا بودن مقادیر RMSE تعیین معادلات واسنجی برای افزایش دقت اندازه‌گیری رطوبت ضروری است. بر اساس پژوهش کشاورزی حسن‌آباد و همکاران (۱۳۹۲) افزایش مقدار و نوع رس در بافت خاک سبب بروز خطا در مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت با استفاده از دستگاه TDR می‌شود، به‌طوری‌که نتایج این پژوهش نیز با نتایج ایشان همسو بود. بر اساس پژوهش کشاورزی حسن‌آباد و همکاران (۱۳۹۱)، مزیدی و معروف پور (۱۳۹۲) و فارس و همکاران (Fares et al., 2016) افزودن ماده آلی سبب کاهش دقت اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه TDR می‌شود اما با نتایج این پژوهش‌ها مطابقت نداشت، دلیل آن بر اساس مطالعه آسون و همکاران (Ason et al., 2014)، بهبود در شرایط فیزیکی خاک نظیر تخلخل خاک و یا در عملکرد میکروارگانیسم‌ها باشد. نتایج این پژوهش با نتایج توکوا و همکاران (Toková et al., 2020) که ابراز داشتند افزودن مواد آلی و معدنی باعث بهبود در دقت اندازه‌گیری رطوبت با TDR خواهد شد، مطابقت داشت.

بر اساس نتایج بیشترین و کمترین میزان انحراف از خط ۱:۱ در بافت‌های رس سیلتی و لوم رسی با ضریب تبیین ۰/۸۷ و ۰/۹۴ در شرایط عدم استفاده از زایتونیک (به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک) مشاهده‌شده است. نتایج نشان‌دهنده کاهش دقت و افزایش اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده با TDR و نتایج حاصل از روش حجمی در بافت‌های ریزتر (با رس بیشتر) است. مطابق با نتایج در هر سه بافت رس سیلتی، لوم رسی و لوم شنی رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از TDR در تمامی محدوده رطوبتی اندازه‌گیری شده نسبت به روش حجمی در بالای خط یک‌به‌یک قرارگرفته و این دستگاه دارای بیش برآورد رطوبت خاک است. در بافت رس سیلتی نسبت به دو بافت دیگر دستگاه مقادیر رطوبتی بیشتری را به دلیل نگهداشت بیشتر این بافت در مقایسه با سایر بافت‌ها نشان می‌دهد. در بافت‌های لوم رسی ($R2 = 0.98$) و لوم شنی ($R2 = 0.96$) نیز استفاده از زایتونیک منجر به کاهش انحراف و یا به‌عبارت‌دیگر بهبود دقت و صحت نتایج اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه TDR در مقایسه با تیمار شاهد شده است (Sarani and Afrasiab, 2012).

مطابق نتایج شکل (۲ الی ۴)، استفاده از زایتونیک منجر به افزایش دقت دستگاه در اندازه‌گیری میزان رطوبت در تمامی بافت‌های خاک شده است و در بافت لوم رسی این افزایش دقت نسبت به سایر بافت‌ها بیشتر است. رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از TDR در کل محدوده رطوبتی محاسبه‌شده در طول دوره آزمایش با توجه به خط ۱:۱ (در شرایط استفاده از زایتونیک) بیشتر از روش حجمی بود (در تمامی بافت‌ها نتایج دارای خطای کمتری بوده و به خط ۱:۱ نزدیک‌تر از شرایط تیمار شاهد است). در جدول (۴) معادله خط برازش یافته در تیمارهای موردبررسی (سه بافت لوم شنی، لوم رسی و رس سیلتی و استفاده از زایتونیک) ارائه‌شده است.

جدول ٤- معادله خط برازش یافته بین Θ_{TDR} و Θ_V در تیمارهای موردبررسی

زایتونیک	بافت	معادله
شاهد (عدم کاربرد زایتونیک)	SC	Θ_{TDR}= ۱/۰۸۸ Θ_V
	CL	Θ_{TDR}= ۰/۹۸۹ Θ_V
	SL	Θ_{TDR}=۱/۱۲۷ Θ_V
یک کیلوگرم در مترمربع	SC	Θ_{TDR}= ۰/۸۶۳ Θ_V
	CL	Θ_{TDR}= ۰/۹۶۳ Θ_V
	SL	Θ_{TDR}= ۰/۸۰۴ Θ_V

SC، CL و SL به ترتیب بیانگر بافت رس سیلتی، لوم رسی و لوم شنی است

نتایج این پژوهش با نتایج مزیدی و معروف پور (۱۳۹۲) که اظهار داشتند در شرایط افزودن ماده آلی به خاک منجر به بهبود اندازه‌گیری رطوبت با TDR خواهد شد مطابقت داشت؛ همچنین نتایج با نتایج صفری‌زاده ثانی و همکاران (۱۴۰۰) و جمالی و همکاران (۱۴۰۰) که اظهار داشتند در بافت‌های درشت‌تر دقت دستگاه بیشتر است، همخوانی داشت، به‌طوری‌که در این پژوهش نیز در بافت‌های ریزتر مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده با دستگاه TDR بیشتر از روش مستقیم بود که مشابه این محققین است. لازم به ذکر است که نتایج این پژوهش با نتایج و پایرو و همکاران، گانگ و سان، وینیارچیچی و همکاران، پایوا لئو

و همکاران و ویلسون و همکاران مطابقت داشت (Gong and Sun, 2003; Payero et al., 2017; Wanniarachchi et al., 2019; Wilson et al., 2020; Paiva Leão et al., 2020).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده شد که میزان دقت اندازه‌گیری رطوبت با TDR در خاک رس سیلتی نسبت به دو بافت دیگر (لوم رسی و لوم شنی) کمتر است، به‌عبارت‌دیگر اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه TDR در بافت‌های درشت‌تر از دقت بالاتری برخوردار بوده و افزایش میزان رس از دقت دستگاه کاسته است. از سوی دیگر، در تمامی بافت‌های ارائه‌شده در این پژوهش، افزایش زایتونیک به خاک موجب افزایش دقت قرائت دستگاه TDR شد. با توجه به مقدار خطا ۲ ± درصد که در کاتالوگ دستگاه ذکرشده است، به دلیل اختلاف زیاد بین مقادیر اندازه‌گیری شده با روش وزنی و TDR و همچنین بالا بودن مقادیر RMSE تعیین معادلات کالیبراسیونی برای افزایش دقت اندازه‌گیری رطوبت در شرایط مختلف ضروری است. کمترین انحراف از خط همسانی (۱:۱) بین مقادیر رطوبت در دو روش موردبررسی، در بافت لوم رسی و استفاده از زایتونیک و بیشترین انحراف در بافت رس سیلتی و عدم استفاده از زایتونیک مشاهده شد. در این پژوهش بیشترین دقت در اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از این دستگاه در بافت لوم رسی و استفاده از یک کیلوگرم در مترمربع زایتونیک مشاهده شد. پیشنهاد می‌گردد در آزمایش‌های آتی از بافت‌های مختلف دیگر که دارای مقدار رس متفاوت با این پژوهش است نیز استفاده از زایتونیک و اثر آن بر دقت دستگاه TDR انجام شود.

منابع

ایران پور، م.، ایراندوست، م. و استخروئیه، ع. ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری شیاری و قطره‌ای در شرایط اعمال سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد ذرت دانه‌ای در کرمان. مدیریت آب و آبیاری. ۶(۱): ۶۱-۷۲.

بلابادی، ح.، افراسیاب، پ.، دلبری، م. و قائدی، س. ۱۳۹۶. تأثیر بافت خاک، و شوری و نسبت جذب سدیم آب آبیاری بر دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌وسیله‌ی دستگاه تتاپروب. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰(۴): ۱۷-۳۰.

جعفری‌کیا، ط.، قاسمی، ا.، قبادی‌نیا، م. و متقیان، ح. ۱۳۹۹. تأثیر مقدار و عمق توزیع ماده خام و بیوچار چوب گردو بر تبخیر و رطوبت خاک. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۷(۳): ۱-۲۱.

جمالی، ص.، گلدانی، م. و زین‌الدین، س.م. ۱۳۹۸. بررسی اثر تنش آبی دوره‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا (رقم NSRCQ). آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۶): ۱۶۸۷-۱۶۹۷.

جمالی، ص. و شریفان، ح. ۱۳۹۹. بررسی اثر زایتونیک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا تحت آبیاری با آب‌های نامتعارف. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۷(۳): ۲۲۹-۲۴۴.

جمالی، ص.، انصاری، ح. و رحیمی آغ‌چشمه، ف. ۱۴۰۰. اثر توأم کدورت آب آبیاری و بافت خاک بر صحت اندازه‌گیری رطوبت خاک با روش انعکاس‌سنجی زمانی. روابط خاک و گیاه. ۱۲(۱): ۶۵-۷۸.

دیانت مهارلویی، ز.، صفرزاده شیرازی، ص. و موسوی، ع.ا. ۱۳۹۸. اثر دو اصلاح‌کننده آلی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های با بافت مختلف. تحقیقات کاربردی خاک. ۷(۴): ۱۳۷-۱۴۷.

صفری زاده ثانی، ع.، بانژاد، ح. و جمالی، ص. ۱۴۰۰. تأثیر آب مغناطیسی بر صحت اندازه‌گیری میزان رطوبت به‌وسیله‌ی دستگاه TDR در بافت‌های مختلف خاک. دانش آب و خاک-دانشگاه تبریز. ۳۱(۳): ۶۱-۷۲.

عالی نژادیان بیدآبادی، ا.، جورونی، ا.، برزگر، ع. و ملکی، ع. ۱۳۹۵. تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب بر اساس دانهٔ ذرت و تغییرات رطوبتی خاک. مدیریت آب و آبیاری. ۶(۱): ۴۷-۵۹.

علیزاده، ا. ۱۳۹۳. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه صنعتی سجاد. ۸۷۶ ص.

فراستی، م. و رحمانی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی دقت دستگاه انعکاس سنجی حوزه زمانی در خاک‌های رسی و شنی شور. دانش آب و خاک–دانشگاه تبریز. ۲۶(۲–۲): ۴۳–۵۲.

قائدی، س.، افراسیاب، پ. و دلبری، م. ۱۳۹۷. تأثیر کدورت آب آبیاری بر دقت اندازه‌گیری میزان رطوبت به‌وسیله‌ی دستگاه تتاپروب. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹(۴): ۷۲۹–۷۳۷.

کشاورزی حسن‌آباد، م.، صدرالدینی، س.ع. و ناظمی، ا.ح. ۱۳۹۱. اثر بافت و ماده آلی خاک بر دقت معادله انعکاس سنجی حوزه زمانی در برآورد رطوبت خاک. مدیریت خاک. ۱(۱): ۵۷–۶۵.

کشاورزی حسن‌آباد، م.، ناظمی، ا.ح.، صدرلدینی، ع.ا.، نیشابوری، م.، ناصری، ا. و فاخری فرد، ا. ۱۳۹۲. تأثیر بافت خاک بر دقت روش انعکاس سنجی حوزه زمانی در برآورد رطوبت خاک. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۳(۳): ۱۴–۲۳.

مزیدی، م. و معروف پور، ع. ۱۳۹۲. بررسی اثر ماده آلی خاک روی کالیبراسیون TDR برای اندازه‌گیری رطوبت. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۷(۴): ۵۱۳–۵۲۲.

Ason, B., Ababio, F. O., Boateng, E. and Yangyuoru, M. 2014. Efficacy of zytonic soil conditioner on two Ghanaian soils using sweet pepper and maize as test crops. Advanced Journal of Agricultural Research. 10(2): 152-158.

Fares, A., Awal, R. and Bayabil, H. K. 2016. Soil water content sensor response to organic matter content under laboratory conditions. Sensors. 16(8): 1-11.

Gong, Y. 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.

Paiva Leão, T., da Costa, B. F. D., Bufon, V. B. and Aragón, F. F. H. 2020. Using time domain reflectometry to estimate water content of three soil orders under savanna in Brazil. Geoderma Regional. e00280: 1-38.

Payero, J. O., Qiao, X., Khalilian, A., Mirzakhani-Nafchi, A. and Davis, R. 2017. Evaluating the effect of soil texture on the response of three types of sensors used to monitor soil water status. Journal of Water Resource and Protection. 9(06):566-577.

Sarani, N. and 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.

Toková, L., Igaz, D., Aydin, E., Čimo, J. and Horák, J. 2020. The effect of fertilization on time domain reflectometry probe measurement accuracy in the field experiment in Slovakia. Acta Technologica Agriculturae. 23(3): 144-149.

Wanniarachchi, D., Cheema, M., Thomas, R. and Galagedara, L. 2019. Effect of biochar on TDR-based volumetric soil moisture measurements in a loamy sand podzolic soil. Soil Systems. 49(3): 1-12.

Wilson, T. B., Diamond, H. J., Kochendorfer, J., Meyers, T. P., Hall, M., Casey, N. W. and Palecki, M. A. 2020. Evaluating time domain reflectometry and coaxial impedance sensors for soil observations by the US Climate Reference Network. Vadose Zone Journal. 19(1): e20013.

Water Management in Agriculture
Vol. 10, No. 2 Autumn And Winter 2024, 73-84

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، ص. ۸۴-۷۳

The Effects of Soil Texture and Zytonic on Accuracy of Soil Moisture Measurement by Time Domain Reflectometry Method

S. Jamali[1], F. Rahimi Aghcheshme[2] and M. J. Amiri[3*]

Abstract

Considering the increased interest in using zytonic as a soil amendment, we evaluated the calibration method using direct gravimetric and indirect time domain reflectometry (TDR) for soil moisture measurements. The aim was to improve the accuracy of TDR measurements under conditions involving the use of zytonic and different soil types. Three soil textures: silty clay, sandy loam, and clay loam as well as two levels of zytonic: 0 (control), and 1 (Kg m^{-2} zytonic) were considered under greenhouse conditions. The drawing of the coherence chart between the results of the TDR method and the volumetric method values showed that the highest and the least coincidence between the two methods were observed in clay loam + used zytonic (1.0 $Kg.m^{-2}$ zytonic) (R^2=0.98) and silty clay + control treatment (R^2=0.87). The results showed that the TDR method has high accuracy for measuring soil water content in clay loam soils. Regression analysis between TDR-Volumetric water content (Θ_{TDR}) and weighing method (Θ_v) showed a good correlation with an R^2 of 0.92 (silty clay+ zytonic), 0.96 (sandy loam+zytonic), and 0.98 (clay loam+zytonic). The results showed that increasing the application of zytonic in soils led to increased accuracy of the device in all of the studied soil textures. These results confirm the necessity of using soil properties for soil sensors like the TDR for estimating soil water content in different soil environments and also suggest that TDR sensors may provide an opportunity to improve soil moisture measurements in higher-clay-content soils.

Keywords: Clay Loam, Indirect Method, TDR, Volumetric Moisture Zytonic

[1] PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
[2] PhD Candidate, Department of Range and Watershed management, Faculty of Natural Resource and Environment, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
[3] Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran (*Corresponding Author: mj_amiri@fasau.ac.ir)
Received: 5 Jan 2023
Accepted: 10 Apr 2023