



دانشگاه گیلان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد هجدهم، شماره سوم، ۱۳۹۰

www.gau.ac.ir/journals

تأثیر میزان رس و مینرالوژی بر ضریب دی‌الکتریک خاک برای اندازه‌گیری میزان رطوبت حجمی خاک با TDR

*داوود نامدار خجسته^۱، مهدی شرفا^۲ و محمود فاضلی سنگانی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی دانشگاه تهران، ^۲استادیار گروه خاک‌شناسی

دانشگاه تهران، ^۳دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۴

چکیده

در سال‌های اخیر انعکاس‌سنج زمانی (TDR)^۱ به‌طور قابل توجهی برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت مورد استفاده قرار گرفته است. میزان و نوع رس در خاک‌های سنگین بافت باعث تغییر در میزان ضریب دی‌الکتریک^۲ در خاک می‌شود که این تغییر باعث خطا در برآورد مقدار رطوبت خاک می‌گردد. اگرچه مطالعات زیادی تأثیر مقدار رس را بر ضریب دی‌الکتریک بررسی کرده‌اند اما تأثیر نوع رس بر ضریب دی‌الکتریک خاک کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه تأثیر مقدار رس و نوع رس (مینرالوژی) بر میزان ضریب دی‌الکتریک خاک‌های سنگین بافت بود. در این راستا خاک‌هایی با بافت‌های مختلف چون رسی، لوم رسی، لوم، رس سیلتی، رس شنی نمونه‌برداری گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که، افزایش مقدار رس به‌دلیل تأثیر آب پیوندی^۳ و کاهش زمان تاخیر^۴ باعث کمتر برآورد کردن مقدار ضریب دی‌الکتریک خاک و مقدار رطوبت حجمی آن می‌شود. خاک‌های با رس اسمکتایت بیش از دیگر کانی‌ها بر میزان ضریب دی‌الکتریک موثر بوده و باعث افزایش زیادی در ضریب دی‌الکتریک گشتند. همچنین نتایج نشان داد مدلی که چهار فاز (جامد، هوا، آب آزاد و آب پیوندی) را در بر می‌گیرد، در

* مسئول مکاتبه: davoodnamdar@gmail.com

- 1- Time Domain Reflectometry
- 2- Dielectric constant
- 3- Bound water
- 4- Delay time

خاک‌های غیر شور نتایج قابل قبولی برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت حجمی نشان می‌دهد. در خاک‌های شور این مدل نمی‌تواند مقدار دقیق رطوبت خاک را تعیین کند. به عبارت دیگر نوع رس و شوری می‌تواند تاثیر زیادی بر میزان ضریب دی‌الکتریک و در نهایت مقدار رطوبت خاک داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: انعکاس سنج زمانی (TDR)، رطوبت خاک، مقدار رس، مینرالوژی رس

مقدمه

روش‌های مستقیم (حجمی و وزنی) و غیرمستقیم مختلفی (بلوک گچی، تتا پروب، اشعه گاما، نوترون-متر، تانسیموتر) برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک وجود دارند. استفاده از روشی که بتوان رطوبت خاک را در شرایط طبیعی و بدون دست‌خوردگی با سرعت و دقت بالا به دست آورد، بسیار مهم و کاربردی است. یکی از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت خاک تکنیک انعکاس سنج زمانی (TDR) می‌باشد که به دلیل توانایی این تکنیک در تعیین همزمان و سریع مقدار رطوبت و شوری خاک در سال‌های اخیر به طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار گرفته است. دستگاه TDR رطوبت خاک (یک محیط متخلخل) را با محاسبه زمان پالس (طول موج) برگشتی در پروب نصب شده در آن محیط اندازه‌گیری می‌نماید. که این زمان بستگی به مقدار ضریب دی‌الکتریک محیط متخلخل دارد. از آنجا که تغییرات ضریب دی‌الکتریک خاک ارتباط مستقیمی با میزان رطوبت آن دارد، دستگاه TDR با اندازه‌گیری این ضریب، مقدار رطوبت خاک را تعیین می‌نماید. فاکتورهای مختلف دیگری به جز میزان رطوبت خاک بر میزان ضریب دی‌الکتریک خاک موثر می‌باشند. از جمله این فاکتورها می‌توان به تاثیر میزان، نوع رس و شوری خاک اشاره نمود. تحقیقات زیادی در این زمینه توسط رودز و همکاران (۱۹۸۹)، روث و همکاران (۱۹۹۰)، شانگ (۱۹۹۴)، ویت و همکاران (۱۹۹۴)، مالکی و همکاران (۱۹۹۴)، ویسر و همکاران (۱۹۹۷)، تاپ و همکاران (۲۰۰۰)، سان و همکاران (۲۰۰۰)، گانگ و همکاران (۲۰۰۳)، کزانزو و تبی (۲۰۰۴) انجام شده است. دلور (۱۹۶۸) در پژوهش خود اثر آب پیوندی در خاک را به عنوان فاز جداگانه به حساب آورد و به این نتیجه رسید که آب پیوندی می‌تواند تاثیر زیادی در ضریب دی‌الکتریک خاک داشته باشد. زگلین و همکاران (۱۹۹۲) در خاک‌های غیر آلی و خاک‌های دارای مقدار زیاد رس، مطالعات زیادی انجام داده و به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار رس، مشکل اندازه‌گیری رطوبت افزایش پیدا می‌کند. دسبرگ و هوپمن (۱۹۹۲) گزارش دادند که در خاک‌های رسی، تفاوت قابل توجهی بین رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده به صورت مستقیم و به وسیله TDR وجود دارد. والی (۱۹۹۳)، هوک و لونینگستن (۱۹۹۶)، یو و همکاران (۱۹۹۹) نیز نتایجی

مشابه نتایج دسبرگ و هوپمن (۱۹۹۲) به دست آوردند. دیرکسن و دسبرگ (۱۹۹۳) در مطالعات خود در خاک رسی به این نتیجه رسیدند که آب پیوندی در سطح این ذرات دارای چهار لایه ملکول آب می باشد، که ضریب دی الکتریک آن ها در سطح ذرات تقریباً برابر با ضریب دی الکتریک یخ و برابر با ۳/۲ است. در صورتی که ملکول های آب بیرون این لایه دارای ضریب دی الکتریک ۸۰ می باشند.

سان و یونگ (۲۰۰۱) هم نتیجه گرفتند که مقدار ضریب دی الکتریک آب پیوندی سطح ذرات (لایه اول) تا آب آزاد (لایه چهارم) ۳/۲ می باشد. معادله ۱ یا ۲ رابطه بین ریشه مربع ضریب دی الکتریک خاک و مقدار رطوبت حجمی خاک را نشان می دهد. زمانی که ضریب دی الکتریک خاک خشک و ضریب دی الکتریک خاک در هر محتوای رطوبتی را داشته باشیم، با استفاده از این معادله می توان میزان رطوبت حجمی خاک را به دست آورد. در این مطالعه، از شیب این معادله برای بررسی تاثیر نوع رس بر ضریب دی الکتریک استفاده شده است. نتایج جدول ۳ مقاله بر اساس این معادله است. از معادله ۲ برای بررسی تغییر ضریب دی الکتریک با فاصله از سطح ذرات به طور غیرمستقیم استفاده شده است. با استفاده از این معادله می توان به خوبی ضریب دی الکتریک را با فاصله از سطح ذرات خاک مشخص نمود. شیب معادله (۱ یا ۲) $\frac{1}{K_w^{0.5}-1}$ در مقادیر مختلف آب پیوندی، تغییر می کند، که این حالت به طور مستقیم با نوع رس ارتباط دارد و میزان تفاوت وابسته به مقدار رس و همچنین نوع آن در خاک می باشد.

$$\theta_v = \frac{\left(\frac{T}{T_a}\right) - \left(\frac{T_s}{T_a}\right)}{K_w^{0.5} - 1} \quad (۱) \quad \text{یا} \quad \theta_v = \frac{(K_a^{0.5}) - (K_s^{0.5})}{K_w^{0.5} - 1} \quad (۲)$$

در معادله (۱) T_s زمان عبور امواج در خاک خشک، $\frac{T}{T_a}$ و $\frac{T_s}{T_a}$ به ترتیب مربع ریشه ضریب دی الکتریک خاک خشک و کل خاک و K_w ضریب دی الکتریک محلول خاک می باشد. با جایگزین کردن K_a و K_s به جای $\frac{T}{T_a}$ و $\frac{T_s}{T_a}$ معادله (۱) به صورت معادله (۲) نشان داده می شود. بین $K_a^{0.5}$ و θ_v ، شیب $\frac{1}{K_w^{0.5}-1}$ و عرض از مبدا $\frac{(K_s^{0.5})}{K_w^{0.5}-1}$ رابطه خطی وجود دارد. فریدمن (۱۹۹۸) معادله زیر را برای محاسبه مقدار ضریب دی الکتریک محلول خاک (K_w) پیشنهاد داد:

$$K_w = \frac{d_w K_{\max}}{d_w \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{k_{\max}(k_{\max} - k_{\min})e^{-\lambda d_w}}{k_{\min}} \right]} \quad (۳)$$

در این معادله d_w فاصله از فاز جامد خاک، K_{min} و K_{max} ضریب دی‌الکتریک مینیمم و ماکزیمم خاک و λ پارامتر وابسته به خاک می‌باشد. از آنجایی که اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک با انعکاس‌سنج زمانی با استفاده از ضریب دی‌الکتریک خاک است، پارامترهایی از جمله مقدار و نوع رس خاک، تاثیر زیادی در اندازه‌گیری ضریب دی‌الکتریک خاک و در نهایت بر رطوبت خاک دارند. بنابراین ضرورت دارد برای اندازه‌گیری دقیق میزان رطوبت خاک با این دستگاه، مقدار و نوع رس مشخص شده و تاثیر این دو عامل بر اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک اعمال شود. هدف از این مطالعه بررسی تاثیر میزان و نوع رس بر ضریب دی‌الکتریک و رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به‌وسیله انعکاس‌سنج زمانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه نمونه‌برداری: نمونه‌برداری خاک از پنج منطقه مختلف استان قزوین و تهران شامل خاک قرسن از سری خاک‌های قرسن از گروه خاک‌های رسوبی^۱، خاک تپه سلطان‌آباد از سری خاک‌های نظام‌آباد از گروه خاک‌های رسوبی، خاک جنوب تاکستان از سری خاک تاکستان از گروه خاک‌های رسوبی، خاک قریه شال از سری خاک خررود از گروه خاک‌های قهوه‌ای^۲ و خاک مزرعه دانشگاه در شهرستان کرج در ۵ کیلومتری شهر کرج انجام شد. نمونه‌برداری در دو عمق، سطحی (۳۰-۰) و زیرسطحی (۶۰-۳۰) سانتی‌متری انجام گرفت، که در نهایت ۱۰ نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک کردن و کوبیده شدن از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شدند.

تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه: بافت خاک با روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر، هدایت‌الکتریکی^۳ از هدایت سنج فیلیپس^۴، واکنش خاک^۵ با دستگاه pH متر الکتریکی ایلیا^۶، کربن آلی به روش واکلی و بلاک (ویست، ۱۹۸۶)، درصد اشباع (روش وزنی)، کربنات کلسیم معادل به روش حجم سنجی (گازومتری) اندازه‌گیری شد. که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

- 1- Alluvial soil
- 2- Brown soil
- 3- Electrical conductivity
- 4- PW-Philips
- 5- Soil reaction
- 6- Eyela-2000

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

تعداد نمونه	بافت	pH	شوری dSm ⁻¹	جرم مخصوص ظاهری Mgm ⁻³	ماده آلی درصد	آهک درصد	شن درصد	سیلت درصد	رس درصد	محل نمونه برداری
۱۷	لوم رسی	۷/۸	۱/۲۴	۱/۲۹	۲/۲۳	۱۰	۴۲/۱۴	۲۹/۲۲	۲۸/۶۴	جنوب تاکستان
۱۹	رسی	۸/۰	۱/۵۴	۱/۵۲	۱/۹۳	۱۱	۱۸/۱۴	۲۵/۲۲	۵۶/۶۴	عمقی (۳۰-۶۰)
۱۶	رس شنی	۸/۱	۱/۱۱	۱/۴۴	۱/۸۶	۵	۴۶/۶۴	۱۷/۲۲	۳۶/۱۴	تپه سلطان آباد
۱۸	لوم رسی	۸/۰	۱/۸۶	۱/۴۵	۱/۳۴	۱۴	۳۶/۶۴	۲۴/۲۲	۳۹/۱۴	عمقی (۳۰-۶۰)
۲۱	رسی	۸/۲	۰/۷۳	۱/۱۸	۱/۸۶	۱۸	۱۲/۶۴	۲۵/۷۲	۶۱/۶۴	شال
۲۰	رسی	۸/۴	۳/۲۹	۱/۵۷	۱/۲۶	۲۰	۱۷/۶۴	۲۴/۷۲	۵۷/۶۴	عمقی (۳۰-۶۰)
۱۷	لوم رسی	۷/۸	۱۲/۶۳	۱/۳۸	۱/۴۹	۲۱	۲۶/۶۴	۳۵/۲۲	۳۸/۱۴	قرسن
۱۸	رس سیلتی	۷/۸	۱۰/۷۲	۱/۴۹	۰/۶۷	۲۱	۱۸/۶۴	۴۱/۷	۳۹/۶۴	عمقی (۳۰-۶۰)
۱۶	لوم	۷/۷	۷/۱۹	۱/۴۱	۲/۳۳	۱۱	۲۶/۰۰	۴۸/۰۰	۲۶/۰۰	مزرعه
۱۶	لوم	۷/۷	۵/۵۰	۱/۶۵	۱/۱۲	۱۲	۳۴/۰۰	۴۰/۰۰	۲۶/۰۰	عمقی (۳۰-۶۰)

تهیه ستون خاک: ده نمونه خاک به چند زیرگروه تقسیم شدند و با اضافه کردن ۰/۲۵ مترمکعب در مترمکعب آب از دامنه حدود هوا خشک تا نزدیک اشباع مرطوب شدند و در هر محتوای رطوبتی، خاک‌ها در لوله‌های PVC به طول ۱۸ و قطر ۱۹ سانتی‌متر قرار داده شدند. برای پر کردن ستون‌های خاک، لوله‌های PVC به طول ۵ سانتی‌متری نشانه‌گذاری شدند و خاک‌ها به مقدار مشخص و مشابه چگالی ظاهری در شرایط مزرعه در هر مرحله به ستون اضافه شدند، بعد از ۴۸-۲۴ ساعت ضریب دی‌الکتریک اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ضریب دی‌الکتریک: ضریب دی‌الکتریک در کلیه آزمایش‌ها به وسیله TDR سیستم تریس^۱ مدل X₁ ۶۰۵۰ به دست آمد. دو پروب موازی استیل به طول ۱۵۰، قطر ۶/۳۵ و به فاصله ۵/۱ میلی‌متر در داخل ستون‌های خاک قرار گرفتند. اندازه‌گیری ضریب دی‌الکتریک ۲۰ ساعت بعد از قرارگیری در داخل خاک (برای برطرف کردن گرادیان مقدار رطوبت در اطراف لوله پروب) انجام شد. دمای آزمایشگاه در طول اندازه‌گیری‌ها حدود ۱۷±۲ درجه سانتی‌گراد بود. برای هر ستون خاک اندازه‌گیری در سه تکرار انجام و سپس از مقادیر تکرارها میانگین‌گیری شد.

1- Trace

اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک: در ستون‌های خاک مرطوب، سیلندرهای استیلی به طول ۱۵/۶ و قطر ۸/۵ سانتی‌متر، و در خاک خشک سیلندرهای استیلی به طول ۱۸ و قطر ۸/۵ سانتی‌متر برای برداشت نمونه خاک دست‌نخورده استفاده شد. خاک درون هر سیلندر را برای حفظ رطوبت، درون قوطی ریخته و درب آن را بسته و به آزمایشگاه منتقل کردند. نمونه‌های مرطوب توزین شده و در آن با با درجه حرارت ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از ۴۸ ساعت نمونه‌ها را خارج کرده با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند و مقدار رطوبت حجمی آن‌ها با توجه به آن‌که چگالی آب ۱۰۰۰ Kg m⁻³ بود به دست آمد.

مینرالوژی رس‌ها: برای تجزیه‌های مینرالوژیکی، املاح محلول و گچ، کربنات‌ها، مواد آلی، اکسیدهای آهن، حذف شده و اجزاء مختلف ذرات خاک جداسازی گردید. نمونه‌های رس جداسازی شده به ترتیب با منیزیم، پتاسیم و گلیسرول اشباع شد. اسلایدهای رس تهیه شده و مینرالوژی رس‌های هر نمونه خاک به وسیله دستگاه جذب اشعه ایکس^۱ تعیین گردید.

نتایج و بحث

نتایج مینرالوژی رس‌ها در خاک‌های مورد مطالعه: فراوانی و نوع کانی‌های رس موجود در نقاط نمونه‌برداری شده در جدول ۲ نشان داده شده است. در بین خاک‌های مورد مطالعه خاک قرسن از نظر تنوع در نوع کانی‌های رسی کمترین میزان تنوع را دارا می‌باشد. ۹۰ درصد کانی‌های رسی این خاک را گروه کانی اسمکتایت تشکیل می‌دهند.

جدول ۲- فراوانی و نوع کانی‌های رس موجود در نقاط نمونه برداری شده.

محل نمونه‌برداری	ایلیت	اسمکتیت	کائولینیت	کلریت	رس‌های مختلط	ورمی کولیت	پالی گورسکایت
تاکستان	***	**	*	***	-	*	-
تپه سلطان‌آباد	****	*	*	***	*	-	-
شال	***	***	*	***	-	-	-
قرسن	-	*****	-	*	-	-	-
مزرعه	***	*	*	***	*	*	-

* نشان‌دهنده ۱۰ درصد کل رس خاک است.

تأثیر میزان رس در ضریب دی‌الکتریک خاک: نتایج تأثیر میزان رس در ضریب دی‌الکتریک خاک با استفاده از معادله ۱، در جدول ۳ نشان داده است. شیب $(\frac{1}{K_w^{0.5}-1})$ رابطه بین $\frac{T}{T_a}$ و مقدار رطوبت حجمی خطی بوده و با افزایش مقدار رس افزایش پیدا می‌کند. در خاک‌های سطحی و عمقی مزرعه، سطحی و عمقی شال، سطحی و عمقی جنوب تاکستان، سطحی و عمقی تپه سلطان آباد با افزایش مقدار رس شیب رابطه بین رطوبت حجمی و مربع ضریب دی‌الکتریک $(\frac{T}{T_a})$ افزایش پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که در این خاک‌ها با افزایش مقدار رس میزان ضریب دی‌الکتریک آب پیوندی در اطراف ذرات کمتر از مقدار آن در آب آزاد (۸۰) می‌باشد. این نتایج با مطالعات گانگ و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت می‌کند. تاپ و همکاران (۲۰۰۰) بررسی کردند که ضریب دی‌الکتریک برای دو افق با درصد رس ۲۰ و ۵۵ به ترتیب ۷۱/۱ و ۳۵/۷۸ می‌باشد. آن‌ها اظهار داشتند در یک خاک مشخص با میزان رطوبت معین، ضریب دی‌الکتریک در افق با درصد رس بیشتر، کمتر از افق دیگر است. روث و همکاران (۱۹۹۰) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که مقدار رس با سطح ویژه زیاد، سبب آزادی کمتر ملکول‌های آب در اطراف ذرات جامد خاک و در نتیجه کاهش ضریب دی‌الکتریک خاک در اطراف این ذرات نسبت به آب آزاد می‌گردند. آن‌ها همچنین نشان دادند که در یک مقدار مشخص رطوبت، ضریب دی‌الکتریک برای خاک‌های سنگین بافت، پایین‌تر از ضریب دی‌الکتریک خاک‌های سبک بافت است. همچنین نتایج بر خلاف دیگر مطالعات نشان داد که شیب رابطه خطی برای بافت‌های رسی و لوم رسی در خاک سطحی و عمقی قرسن متفاوت از دیگر خاک‌ها به دست آمد. در واقع شیب رابطه بین مربع ضریب دی‌الکتریک و مقدار رطوبت حجمی در این دو خاک از مقدار معمول آن نیز کمتر بوده و دارای تفاوت زیادی با خاک‌های دارای همان مقدار رس می‌باشند. نتایج مینرالوژی رس‌های به دست آمده برای خاک قرسن در جدول ۱ نشان می‌دهد که نوع رس‌های این خاک متفاوت از دیگر خاک‌ها بوده و دارای ۹۰ درصد کانی اسمکتایت می‌باشد. این مقدار رس به دلیل سطح ویژه بالای آن باعث تغییر در قطبیت ملکول‌های آب اطراف ذرات خاک شده است. همچنین این رس باعث پراکنش و ضعیف شدن امواج الکترومغناطیسی دستگاه TDR در خاک شده، که در نتیجه این عمل مقدار ضریب دی‌الکتریک در فاز محلول خاک افزایش می‌یابد. نتایج مطالعات نشان داده که رس‌های اسمکتایت بیش از دیگر کانی‌ها در تغییر ضریب دی‌الکتریک موثر است (کوزنزا و تبق، ۲۰۰۴). علت دیگر این افزایش ضریب دی‌الکتریک می‌تواند مقدار شوری بالای این خاک نسبت

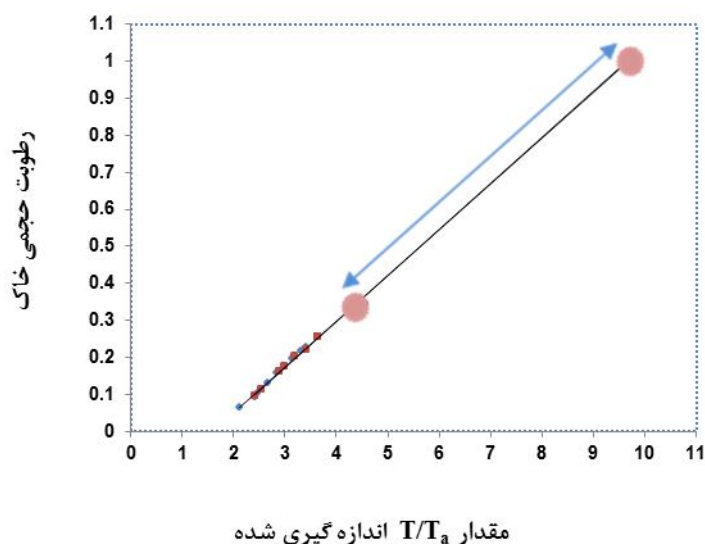
به دیگر خاک‌ها باشد (جدول ۱). شوری کل خاک شامل شوری در سطح ذرات خاک (EC_e) و شوری در محلول خاک (EC_s) می‌باشد. اثر شوری کل خاک در اندازه‌گیری رطوبت TDR در مطالعات متعددی از جمله ویت و همکاران (۱۹۹۴)، مالیکی و همکاران (۱۹۹۴)، سان و همکاران (۲۰۰۰) نشان داده شده است. شوری کل خاک باعث پراکنده شدن سیگنال منعکس شده در خاک می‌شود، در نتیجه سبب طولانی شدن زمان برگشت امواج و در نهایت باعث خطا در اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک می‌شود. هوک و لونینگستن (۱۹۹۶)، اظهار داشتند که شوری زیاد خاک، ضریب دی‌الکتریک خاک را افزایش می‌دهد و منجر به تخمین زیادتر مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده می‌شود. ویت و همکاران (۱۹۹۴)، تاپ و همکاران (۲۰۰۰)، سان و همکاران (۲۰۰۰). ویسر و همکاران (۱۹۹۷) همچنین اعلام داشتند که خاک‌های شور تاثیر زیادی بر روی زمان برگشت امواج و فرکانس‌ها دارند، به همین دلیل انعکاس سنج زمانی به‌طور سیستماتیک مقدار رطوبت خاک را بیش از حد نشان می‌دهد. رودز و همکاران (۱۹۸۹) اظهار نمودند که میزان شوری خاک منجر به تخمین زیاد در محتوای رطوبتی خاک نیز می‌شود زیرا در رطوبت کم جزء حجمی آب پیوندی به آب آزاد بیشتر و تاثیر شوری کل خاک در این محدوده رطوبت کم می‌باشد ولی شوری زیاد، ضریب دی‌الکتریک خاک را افزایش می‌دهد و منجر به تخمین زیادتر مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده می‌شود.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مقدار رس تاثیر زیادی در رابطه بین ضریب دی‌الکتریک خاک (K_a) و میزان رطوبت حجمی خاک (θ_v) دارد. به‌طور کلی با افزایش مقدار رس به‌جز در خاک‌های سطحی و عمقی قرسن، شیب رابطه بین $K_a - \theta_v$ افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش شیب و درصد رس میزان ضریب دی‌الکتریک کاهش پیدا می‌کند. دلیل آن از سویی به آن جهت است که مقدار آب پیوندی همراه با ذرات رس باعث کاهش ضریب دی‌الکتریک آب آزاد در خاک، به‌خصوص در دامنه رطوبت‌های کم، که نسبت آب پیوندی به آب آزاد بیشتر بوده، می‌شود. از سوی دیگر دلیل بعدی آن است که علاوه بر مقدار رس، نوع رس تاثیر زیادی در میزان ضریب دی‌الکتریک دارد که این موضوع در مطالعات بسیار کم به آن توجه شده است. در خاک‌های تحت مطالعه تاثیر ماده آلی بر روی ضریب دی‌الکتریک بسیار کم می‌باشد. علاوه بر آن عوامل دیگر از جمله دما، EC، CEC و وزن مخصوص ظاهری بر روی این رابطه موثر است.

جدول ۳- شیب و میزان ضریب دی الکتریک بر اساس معادله ۱ در ده نوع خاک.

محل نمونه برداری	نوع خاک	مقدار رس	شیب	ضریب دی الکتریک
سطحی مزرعه	لوم	۲۶/۰۰	۰/۱۲۷۲	۷۸/۵۲
عمقی مزرعه	لوم	۲۶/۰۰	۰/۱۲۷۱	۷۸/۶۳
سطحی جنوب تاکستان	لوم رسی	۲۸/۶۴	۰/۱۲۷۷	۷۷/۹۸
سطحی تپه سلطان اباد	رس شنی	۳۶/۱۴	۰/۱۲۸۷	۷۷/۸۷
سطحی قرسن	لوم رسی	۳۸/۱۴	۰/۱۱۷۰	۹۱/۱۴
عمقی تپه سلطان اباد	لوم رسی	۳۹/۱۴	۰/۱۲۷۵	۷۸/۲۰
عمقی قرسن	رس سیلتی	۳۹/۶۴	۰/۱۱۷۱	۹۱/۰۰
عمقی جنوب تاکستان	رس	۵۶/۶۴	۰/۱۲۷۸	۷۷/۸۷
عمقی شال	رس	۵۷/۶۴	۰/۱۳۱۲	۷۴/۳۳
سطحی شال	رس	۶۱/۶۴	۰/۱۳۷۰	۶۸/۸۷

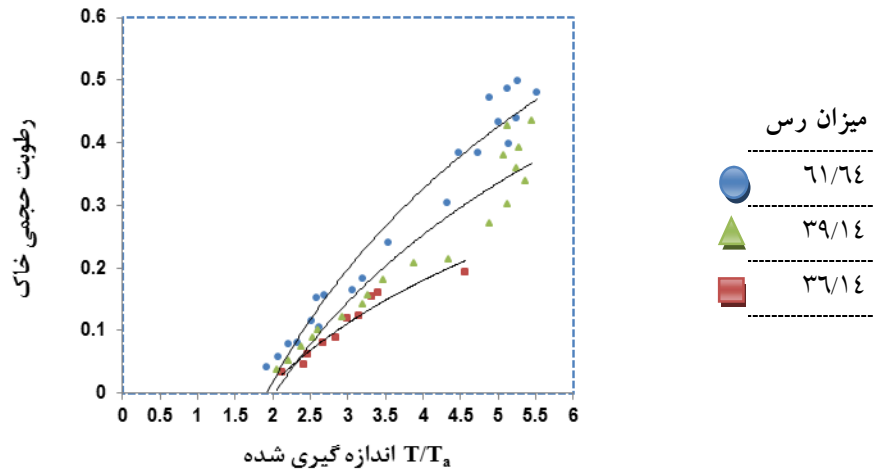
شکل ۱ میزان ضریب دی الکتریک را در خاک قرسن نشان می دهد. همان طور که در شکل ۱ دیده می شود، با افزایش رطوبت حجمی خاک از ۰/۲۲ مترمکعب در مترمکعب، ضریب دی الکتریک به بیش از مقدار واقعی رسیده است (حدود ۹۳). نتایج این شکل با مقادیر به دست آمده از معادله ۱ مطابقت می کند.



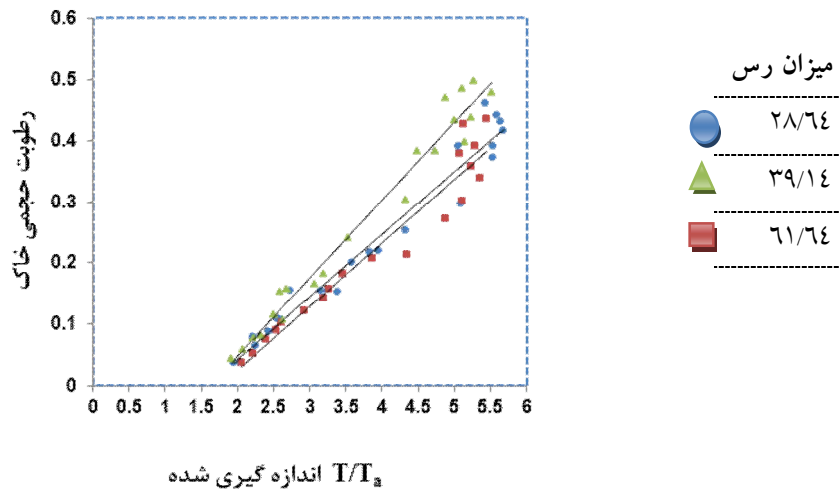
شکل ۱- رابطه بین تاخیر زمانی (T/T_a) و رطوبت حجمی خاک برای خاک قرسن

تأثیر آب پیوندی در ضریب دی‌الکتریک خاک: رابطه بین تاخیر زمانی (T/T_a) و مقدار رطوبت حجمی برای بافت‌های متفاوت در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۲ (الف) رابطه بین تاخیر زمانی (T/T_a) و مقدار رطوبت حجمی در بافت‌های رسی، رس شنی، لوم رسی به ترتیب (مقدار رس ۶۱/۶۴، ۳۶/۱۴، ۳۹/۱۴) با درصد رس متفاوت اما با مینرالوژی تقریباً یکسان نشان داده شده است. در واقع نمودار نشان می‌دهد که در خاک‌های با رس بالاتر تأثیر آب پیوندی بیشتر است. در شکل ۲ (ب) در خاک با بافت لوم رسی و رسی با درصد متفاوت رس نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در خاک با مقدار رس بالاتر این تأثیر بیشتر بوده و در خاک که رس آن‌ها یکسان است تأثیر معنی دار نمی‌باشد. در این خصوص ماده آلی نیز بر میزان ضریب دی‌الکتریک موثر است و تأثیر ماده آلی همانند تأثیر مقدار رس می‌باشد. اما با توجه به آزمایش‌های انجام شده در این خاک‌ها مقدار ماده آلی در آن‌ها تفاوت معنی‌داری ندارد و تأثیر ماده آلی را در این خاک‌ها می‌توان نادیده گرفت. شکل ۲ (ب) برای خاک لوم رسی و رسی نشان می‌دهد که اثرات آب پیوندی در خاک با رس بیشتر زیادتر می‌گردد.

این نتایج با یافته‌های گانگ و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. این محققان در مطالعات خود در یک نوع خاک رسی با ۳۵ درصد رس نشان دادند که خاک رسی در مقایسه با خاک شنی تأثیر زیادتری در میزان آب پیوندی دارد و در رطوبت خاک بالاتر از ۰/۲ مترمکعب در مترمکعب اثرات آب پیوندی را می‌توان نادیده گرفت. روث و همکاران (۱۹۹۰) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که مقدار رس زیاد منجر به سطح ویژه زیاد خاک شده و وجود لایه‌های آب در اطراف ذرات خاک باعث آزادی کمتر ملکول‌های آب و در نهایت ضریب دی‌الکتریک کمتر خاک می‌شود. در یک مقدار رطوبت مشخص ضریب دی‌الکتریک برای خاک‌های سنگین بافت کمتر از خاک‌های سبک بافت می‌باشد. کاهش قطبی شدن آب پیوندی، عامل اصلی کاهش ضریب دی‌الکتریک است، که دلیل آن جذب الکترواستاتیک بالای بارهای منفی در سطح ذرات کلئیدی خاک می‌باشد (شانگ، ۱۹۹۴). ضریب دی‌الکتریک آب پیوندی که به‌طور مستقیم به سطح ذرات خاک چسبیده است، حدود ۳/۲ به‌دست می‌آید، که این عامل (آب پیوندی در سطح ذرات) باعث برگشت سریع‌تر و کوتاه‌تر شدن زمان عبور امواج الکترومغناطیس یا زمان تاخیر در خاک می‌شود. بنابراین اثر آب پیوندی منجر به تخمین کمتر ملکول‌های آب در خاک می‌گردد. در خاک‌های شنی و لومی سطح ویژه و نیروی پیوندی خیلی کم می‌باشند، بنابراین تخمین مقدار رطوبت نزدیک به مقدار واقعی آن در خاک است.



(الف)



شکل ۲- (الف) رابطه بین T/T_a و رطوبت حجمی خاک برای بافت لوم رسی، رس سیلتی، رسی و (ب) برای بافت لوم رسی و رسی.

با استفاده از معادله زیر میزان رطوبت حجمی برای ده نوع خاک محاسبه شد:

$$\varepsilon^a = f_1 \varepsilon_s^a + f_2 \varepsilon_s^a + f_3 \varepsilon_s^a + f_4 \varepsilon_s^a \quad (۳)$$

در این معادله f_1, f_2, f_3 و f_4 بخش هوا، جامد، آب آزاد، آب پیوندی در خاک و ضریب دی‌الکتریک هوا، جامد، آب آزاد و آب پیوندی به ترتیب برابر $\varepsilon_a=1, \varepsilon_s=2/56, \varepsilon_w=80/2, \varepsilon_b=32/5$ بوده و پارامتر $\alpha=0/5$ است. در این معادله ε ضریب دی‌الکتریک کل خاک و α پارامتر متغیر وابسته به نوع خاک می‌باشد. با محاسبه مقدار حجمی برای هر یک از جزءها و ضریب دی‌الکتریک برای هر جزء، تاثیر مقدار آب پیوندی در تخمین میزان رطوبت برای هر خاک محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۴ آمده است. مقدار ضریب دی‌الکتریک محاسبه شده با استفاده از معادله ۳ و ضریب دی‌الکتریک اندازه‌گیری شده با دستگاه انعکاس‌سنج زمانی برای ده نوع خاک در دامنه خاصی از رطوبت در جداول ۴ و ۵ آمده است.

بیشترین اختلاف در مقدار ضریب دی‌الکتریک اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در خاک‌های سطحی و عمقی جنوب تاجستان، تپه سلطان آباد، شال و مزرعه مقدار $0/488$ به دست آمد. این نتیجه با یافته‌های گانگ و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. اما در خاک‌های سطحی و عمقی قرسن و سطحی مزرعه این تفاوت $0/836$ به دست آمد. که بیش از مقدار معمول در مطالعات قبلی و در مقایسه با خاک‌های دیگر می‌باشد. علت آن ممکن است به دلیل شوری زیاد این خاک‌ها در مقایسه با دیگر خاک باشد. چون براساس شوری عصاره اشباع در این خاک‌ها میزان شوری در خاک‌های سطحی و عمقی قرسن و سطحی و عمقی مزرعه به ترتیب $12/6, 10/7, 7/1, 5/5$ و مقدار شوری دیگر خاک‌ها کمتر از 3 دسی‌زیمنی بر متر می‌باشد. همچنین نوع رس‌های به دست آمده از خاک‌های سطحی و عمقی قرسن دارای مینرالوژی متفاوت از دیگر خاک‌ها بود (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد که خاک‌های با اسمکتایت بالا بیش از دیگر کانی‌ها بر میزان ضریب دی‌الکتریک موثرند، در واقع اختلاف بین نتایج به دست آمده از معادله ۳ و دستگاه TDR نشان‌دهنده تاثیر مقدار آب پیوندی است. بنابراین، هر چه تاثیر آب پیوندی بر میزان ضریب دی‌الکتریک بیشتر باشد، اختلاف بین دو ضریب دی‌الکتریک (معادله و دستگاه TDR) بیشتر می‌شود. همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است علاوه بر مقدار رس، نوع رس نیز بر میزان ضریب دی‌الکتریک خاک تاثیرگذار است. به‌طور کلی از معادله ۴ که به‌عنوان یک مدل که خاک را دارای چهار جزء جامد، هوا، آب آزاد و آب پیوندی و $\alpha=0/5$ در نظر می‌گیرد، برای خاک‌های شور نمی‌توان بهره برد.

داود نامدار خجسته و همکاران

جدول ۴ - محاسبه مقدار ضریب دی الکتریک اندازه گیری و محاسبه شده برای خاک سطحی و عمقی جنوب تاجستان.

نوع خاک	مقدار رطوبت حجمی	*	**	***
سطحی جنوب تاجستان	۰/۰۷۸۱	۲/۲۱۳۵	۲/۰۵۴۳	۰/۱۵۹۲
	۰/۱۰۷۷	۲/۵۴۹۵	۲/۲۷۰۳	۰/۲۷۹۱
	۰/۱۵۵۵	۲/۷۳۸۶	۲/۵۸۰۵	۰/۱۵۸۰
	۰/۳۹۱۲	۵/۰۴۹۷	۴/۷۲۰۷	۰/۳۲۸۹
	۰/۴۴۱۶	۵/۵۸۵۶	۵/۱۲۶۲	۰/۴۵۹۴
عمقی جنوب تاجستان	۰/۰۵۹۸	۲/۰۷۳۶	۱/۹۴۴۱	۰/۱۲۹۴
	۰/۱۲۰۸	۲/۷۵۶۸	۲/۳۸۱۷	۰/۳۶۹۰
	۰/۴۹۳۷	۵/۹۱۶۰	۵/۴۶۹۷	۰/۴۴۶۳
	۰/۵۲۲۲	۵/۶۶۵۶	۵/۶۷۲۲	۰/۰۰۶۵

* T/T_a اندازه گیری شده، ** T/T_a محاسبه شده با معادله (۳)، *** تفاوت بین T/T_a محاسبه شده و اندازه گیری شده.

جدول ۵ - تفاوت مقدار ضریب دی الکتریک اندازه گیری و محاسبه شده برای خاک های تپه سلطان آباد، شال، قرسن و مزرعه.

نوع خاک	**	نوع خاک	**	نوع خاک	**	نوع خاک
سطحی	۰/۱۱۴۱	تپه	۰/۱۷۷۳	سلطان	۰/۳۱۰۰	آباد
تپه	۰/۳۱۰۰	سلطان	۰/۲۰۴۲	آباد	۰/۴۵۷۰	عمقی
سلطان	۰/۴۵۷۰	آباد	۰/۱۱۴۰	عمقی	۰/۴۹۴۰	تپه
آباد	۰/۴۹۴۰	عمقی	۰/۴۸۸۳	تپه	۰/۰۷۱۷	سلطان
عمقی	۰/۰۷۱۷	تپه	۰/۲۰۱۹	سلطان	۰/۳۵۸۱	آباد
تپه	۰/۳۵۸۱	سلطان	۰/۰۵۸۰	آباد	۰/۴۲۰۴	عمقی
آباد	۰/۴۲۰۴	عمقی	۰/۳۶۲۰	تپه	۰/۰۷۳۱	سلطان
عمقی	۰/۰۷۳۱	تپه	۰/۳۸۰۹	سلطان	۰/۳۲۸۸	آباد
سلطان	۰/۳۲۸۸	آباد	۰/۴۸۴۸	عمقی	۰/۵۶۷۴	تپه
آباد	۰/۵۶۷۴	عمقی	۰/۱۵۶۶	تپه	۰/۰۵۹۵	سلطان
عمقی	۰/۰۵۹۵	سلطان	۰/۱۸۴۵	آباد	۰/۰۰۸۸	عمقی
تپه	۰/۰۰۸۸	آباد	۰/۵۶۷۴	تپه	۰/۰۵۷۵	سلطان
سلطان	۰/۰۵۷۵	عمقی	۰/۱۵۶۶	آباد	۰/۰۵۷۵	تپه

** تفاوت بین T/T_a محاسبه شده و اندازه گیری شده.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشاهده شد که با افزایش مقدار رس میزان ضریب دی‌الکتریک خاک کاهش می‌یابد، که علت اصلی این کاهش، میزان آب پیوندی به سطح ذرات رس است. همچنین با افزایش رس‌های گروه اسمکتایت ضریب دی‌الکتریک خاک افزایش می‌یابد که دلیل آن به‌خاطر پدیده پراکنش و ضعیف شدن قدرت امواج الکترومغناطیس در خاک می‌باشد. نتایج همچنین نشان دادند که میزان ضریب دی‌الکتریک با توجه به شوری‌های متفاوت، تغییر می‌یابد. شوری بالای خاک نیز تاثیر زیادی در میزان ضریب دی‌الکتریک خواهد داشت به‌طوری که با افزایش شوری، ضریب دی‌الکتریک خاک افزایش می‌یابد. در واقع تعادل بین میزان آب پیوندی و میزان شوری خاک تعیین کننده میزان تغییر ضریب دی‌الکتریک در خاک می‌باشد. علاوه بر این، برای یافتن رطوبت دقیق خاک بر اساس ضریب دی‌الکتریک آن می‌توان از مدل ارائه شده در این مقاله بهره جست که در آن چهار فاز برای خاک در نظر گرفته شده است (جامد، هوا، آب آزاد، آب پیوندی). ضریب دی‌الکتریک دقیق خاک بر اساس این مدل از مجموعه حاصل ضرب هر جزء در ضریب دی‌الکتریک آن جزء به‌دست می‌آید. به این ترتیب تخمین دقیق‌تری از رطوبت خاک به‌وسیله TDR به‌دست خواهد آمد.

منابع

1. Cosenza, P.h., and Tabbagh, A. 2004. Electromagnetic determination of clay water content: role of the microporosity. *Clay Science*. 26: 21–36.
2. Dasberg, S., and Hopmans, J.W. 1992. Time domain reflectometry calibration for uniformly and no uniformly wetted sandy and clayey loam soils. *Soil Science Society American Journal*. 56: 1341–1345.
3. De Loor, G.P. 1968. Dielectric properties of heterogeneous mixtures containing water. *Journal of Microwave Power*. 3:2, 67–73.
4. Dirksen, C., and Dasberg, S. 1993. Improved Calibration of Time Domain Reflectometry Soil water Content Measurements. *Soil Science Society American Journal*. 57: 660-667.
5. Friedman, S.P. 1998. A saturation degree-dependent composite spheres model for describing the effective dielectric constant of unsaturated porous media. *Water Resource Research*. 34: 11, 2949–2961.
6. Gong, Y., Cao, Q., and Sun, Z. 2003. The effects of soil bulk density, clay content and temperature on soil water content measurement using time-domain reflectometry. *Hydrol. Process*. 17: 3601–3614.
7. Hook, W.R., and Livingston, N.J. 1996. Errors in Converting Time Domain Reflectometry Measurements of Propagation Velocity to Estimates of Soil Water Content. *Soil Science Society American Journal*. 60: 35-41.

8. Malicki, MA., Walczak, RT., Koch, S., Fluhler, H .1994. Determining soil salinity from simultaneous readings of its electrical conductivity and 9-permittivity using TDR., United States Department of Interior Bureau of Mines. 3: 328–336.
9. Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J., Alves, W.J. 1989. Soil electrical conductivity and salinity: new formulations and calibrations. *Soil Science Society American Journal*. 53: 433–439.
10. Roth, K., Schulin, R., Fluhler, H., and Attinger, W. 1990. Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach. *Water Resource Research*. 26: 2267-2273.
11. Shang, J.Q. 1994. Quantitative Determination of Potential Distribution in Stern-Gouy Doublelayer Model. *Can. Geotech Journal*. 31: 624-636.
12. 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. *Canadian Journal of Soil Science*. 80: 1, 13–22.
13. Sun, Z.J., Young, G.D. 2001 .Saline clayey soil moisture measurement using time domain reflectometry. In *TDR 2001: The Second International Symposium and Workshop on Time-Domain Reflectometry for Innovative Geotechnical Applications*, North Western University, Illinois, USA.
14. Topp, G.C., Zeglin, S., and White, I. 2000. Impacts of real and imaginary components of relative permittivity on time domain reflectometry measurements in soil. *Soil Science Society American Journal*. 64: 1244–1252.
15. Weast, R.C. 1986. *Handbook of Physics and Chemistry*, 67th ed. CRC Press: Boca Raton.
16. Whalley, W.R. 1993. Considerations on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content. *Journal of Soil Science*. 44: 1–9.
17. 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. *European Journal of Soil Science*. 45: 503-508.
18. Wyseure, G.C.L., Mojid, M.A., and Malik, M.A. 1997. Measurement of volumetric water content by TDR in saline Soils. *European Journal of Soil Science*. 48: 347–354.
19. Yu, C., Warrick, W., and Conklin, M.H. 1999, Derived Functions of Time Domain Reflectometry for Soil Moisture Measurement. *Water Resource Research*. 35:6: 1789-1796.
20. Zegelin, S.J., White, I., and Russel, G.F. 1992. A critique of the Time Domain Reflectometry Technique for determining soil water content. In: Topp, G.C., *Advances in the measurement of soil physical properties: bringing theory into practice*. Soil Science Society American Journal, Spec. Publ., vol. 30. Madison, WI.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(3), 2011
www.gau.ac.ir/journals

The effects of amount and type of clay minerals on soil dielectric constant for measuring water content with Time Domain Reflectometry

***D. Namdar Khojasteh¹, M. Shorafa² and M. Fazeli³**

¹M.Sc. student, Dept. of Soil Sciences, University of Tehran, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Sciences, University of Tehran, ³M.Sc. student Dept. of Soil Sciences, University of Tehran

Received: 2009-12-16; Accepted: 2011-2-23

Abstract

Time domain reflectometry (TDR) is used for determining soil water content nowadays. Amount and type of clay minerals in heavy soil can affect soil dielectric constant and cause the error in soil water content. The effect of the amount of clay minerals on soil water content was the subject of many researchers, but they did not work on the effect of the type of clay minerals. The aim of this research was the effect of type and amount of clay minerals on dielectric constant in heavy soils. For this purpose soil samples with different textures including clay, clay loam, loam, silty clay and sandy clay were taken. The results showed that with increasing the clay content, due to bound water and delay time, the soil dielectric constant decreased and consequently soil water content has been shown less than the real amount. The results also showed that Smectite group increased soil dielectric constant. Our results showed that the presented model with four phases including solid, air, bound water and free water in non saline soils presents acceptable results for volumetric water content. But in saline soil this model did not show accurate results. Consequently, soil salinity and clay type can affect on soil dielectric constant and water content.

Keywords: Clay content; Clay type; Soil water content; Time Domain Reflectometry (TDR)

*Corresponding Author; Email: davoodnamdar@gmail.com