

## ارزیابی مدل خطی (شوری - ضریب دی الکتریک) برای اندازه گیری

### شوری محلول خاک با استفاده از TDR

داوود نامدار خجسته\* - مهدی شرفا<sup>۲</sup> - محمود فاضلی سنگانی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۲۲

#### چکیده

انعکاس سنج زمانی<sup>۴</sup> به طور گسترده در خاک برای اندازه گیری میزان ضریب دی الکتریک ( $K_a$ ) و شوری کل خاک ( $\sigma_a$ ) استفاده می شود. از اندازه گیری شوری کل و ضریب دی الکتریک برای اندازه گیری شوری محلول خاک ( $\sigma_p$ ) استفاده می گردد. هیل هورست (۴) تئوری مدل رابطه خطی بین شوری کل خاک و ضریب دی الکتریک را در خاک مرطوب ارائه نمود. همچنین از این رابطه خطی برای به دست آوردن شوری محلول در خاک هائی با بافت های مختلف بدون استفاده از کالیبراسیون مخصوص برای هر خاک استفاده کرد. هدف از این مطالعه ارزیابی مدل خطی فوق با داده های به دست آمده از TDR می باشد. مطالعات قبلی در این زمینه عمدتاً در بافت های سبک انجام شده و در این مطالعه از بافت های رسی، لومی رسی، لومی، سیلتی رسی، لوم رس شنی استفاده شده است. نتایج نشان داد که این مدل خطی برای بافت های سبک نتایج بهتری نسبت به بافت های متوسط تا سنگین می دهد و دلیل آن، کاهش  $t^2$  به علت کاهش ضریب دی الکتریک در آب موجود در خاک هایی با بافت سنگین می باشد در صورتی که در مدل خطی این ضریب دی الکتریک ثابت و برابر با ۸۰ (در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد) در نظر گرفته شده است.

واژه های کلیدی: انعکاس سنج زمانی، قابلیت هدایت الکتریکی، ضریب دی الکتریک

#### مقدمه

استخراج آن از خاک است. اگر چه استخراج محلول خاک با روش هائی مانند صفحات فشاری یا سانتریفیوژ در رطوبت های بالا امکان پذیر است اما این روش ها زمان بر و هزینه بر بوده و در تمام دامنه رطوبتی خاک بویژه مقدار رطوبت پایین امکان پذیر نمی باشد (۱، ۳، ۱۳ و ۱۴).

مقدار شوری کل خاک ( $\sigma_a$ ) به دو پارامتر میزان شوری محلول خاک ( $\sigma_p$ ) و مقدار رطوبت حجمی خاک ( $\theta_v$ ) بستگی دارد. بنابراین شوری محلول خاک ( $\sigma_p$ ) را می توان با یافتن ارتباط بین مقادیر  $\sigma_a - \theta_v$  پیش بینی کرد.

اخیراً استفاده از فناوری دستگاه (TDR) برای تعیین همزمان اندازه گیری رطوبت خاک و قابلیت هدایت الکتریکی آن ارائه شده است. TDR امواج الکترو مغناطیس را در زمان کوتاهی به داخل پروب ها در درون خاک انتقال می دهد. سیگنال ها در انتهای پروب منعکس شده و زمان رفت و برگشت سیگنال از روی شکل موج حاصله به دست می آید. با محاسبه زمان رفت و برگشت این سیگنال ها می توان ضریب دی الکتریک خاک ( $K_a$ ) را به دست آورد.

تاپ و همکاران نشان دادند که مقدار ضریب دی الکتریک خاک را می توان از معادله (۱) محاسبه کرد (۱۶):

اندازه گیری مقدار دقیق میزان املاح محلول در مطالعات مختلف خاک شناسی و کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. تعیین شوری خاک با هدایت سنج الکتریکی در عصاره اشباع صورت می گیرد. با این فرض که میزان شوری کل خاک که در عصاره اشباع یا عصاره های ۱:۱ و سایر نسبت ها تعیین می گردد می تواند تخمینی از شوری محلول خاک در رطوبتی معادل حد ظرفیت مزرعه ای باشد. با کاهش رطوبت از این حد شوری تعیین شده به وسیله عصاره اشباع نمی تواند نشان دهنده شوری محلولی که در تماس با گیاه است، باشد. از آنجا که گیاه در شرایط رطوبتی بین ظرفیت مزرعه ای و نقطه پژمردگی رشد می کند اندازه گیری مقدار شوری در این محدوده جهت بررسی تعامل گیاه و فاز محلول خاک دارای اهمیت زیادی است (۱۲). اندازه گیری میزان شوری محلول خاک در این محدوده مستلزم

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه تهران

\* - نویسنده مسئول: (Email: davoodnamdar@gmail.com)

S در این مدل درصد وزنی شن می‌باشد.

بر این اساس هیل هورست تئوری رابطه  $\sigma_p - \theta_v - \sigma_a$  را بیان کرد (۴):

$$\sigma_p = \frac{K_p \sigma_a}{K_u - K_a} \quad (5)$$

در این رابطه  $K_p$  مقدار ضریب دی الکتریک آب خلل و فرج خاک می‌باشد و  $K_0$  مقدار  $K_a$  زمانی که شوری کل خاک ( $\sigma_a$ ) برابر با صفر می‌باشد.  $K_0$  عرض از مبدا در زمانی که رابطه خطی بین مقدار  $\sigma_a$  و  $K_a$  برقرار است می‌باشد. پارامتر  $K_0$  وابسته به نوع خاک است و در دامنه بین ۱/۰۹ تا ۷/۶ برای خاک‌های مورد مطالعه وی به دست آمد. این ضریب برای هر خاکی با بافت مشخص حاصل شد. مقدار ۴/۱ برای بیشتر خاک‌ها مناسب می‌باشد.

هدف از این مطالعه اندازه گیری میزان شوری محلول خاک با استفاده از شوری کل خاک ( $\sigma_a$ ) و میزان رطوبت حجمی (اندازه گیری شده به وسیله TDR) با مدل خطی هیل هورست برای بافت‌های رسی، رسی لومی، لوم، شنی رسی لومی، سیلتی رسی بود (۴). همچنین مقایسه کارآئی این مدل در پیش بینی شوری محلول خاک در بافت‌های سبک و سنگین از اهداف دیگر مطالعه بوده است.

## مواد و روش‌ها

در تابستان ۱۳۸۷ در پنج نقطه از خاک‌های کرج، قزوین و اصفهان در دو عمق، سطحی ۰ تا ۳۰ سانتی متر و زیر سطحی از ۳۰ تا ۶۰ سانتی متر جمعاً ده نمونه برداشته شد. خاکها هوا خشک شدند و سپس از الک ۵ میلی متر عبور داده شدند. هر ده نوع خاک به چند زیر گروه (حدود ۲۰-۱۵) تقسیم گردیدند. سپس آب با شوری ۰/۴۱-۰/۸۱-۱/۵۳-۲/۶-۳/۴۹-۴/۷۱ دسی زیمنس بر متر که توسط برمید پتاسیم<sup>۱</sup> ایجاد شده بود به اندازه حجمی برابر با ۰/۰۳ متر مکعب در متر مکعب در دامنه حدود هوا خشک تا نزدیک اشباع در هر مرحله به خاک اضافه گردید. سپس خاک‌ها در لوله‌های PVC با طول ۱۸ و قطر ۱۹ سانتی متر ریخته شده و جرم مخصوص ظاهری آنها به جرم مخصوص مشابه در شرایط مزرعه رسانده شدند. ضریب دی الکتریک به وسیله TDR سیستم تریس<sup>۲</sup> مدل Soil X<sub>1</sub> ۶۰۵۰ Equiome crop moisture به دست آمد. دو پروب موازی استیل به طول ۱۵۰ میلی‌متر و قطر ۶/۳۵ و به فاصله ۵۱ میلی‌متر در داخل ستون‌ها قرار گرفتند. ضریب دی الکتریک در حدود ۲۴ ساعت بعد از قرار گیری پروب در داخل خاک قرائت شد. این کار برای برطرف کردن گردیدن مقدار رطوبت در اطراف لوله پروب می‌باشد. دمای

$$K_a = \sqrt{\frac{ct}{2l}} \quad (1)$$

در این معادله c سرعت پالس‌های الکترو مغناطیس در خلاء و l طول میله پروب است. مقدار ضریب دی الکتریک در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد برای آب حدود ۸۰ می‌باشد و برای خاک ۲-۵ و برای هوا ۱ می‌باشد. بنابراین ضریب دی الکتریک وابسته به مقدار رطوبت خاک است. از آنجا که میزان نمک محلول در خاک میتواند بر روی ضریب دی الکتریک آب تأثیر داشته باشد لذا با مقدار شوری خاک ارتباط دارد. TDR وسیله‌ای برای اندازه گیری مقدار رطوبت حجمی و میزان شوری کل خاک ( $\sigma_a$ ) است.

تکنیک TDR در سال ۱۹۸۰ توسط تاپ و همکاران برای اندازه گیری مقدار رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفت. آنها از میزان ضریب دی الکتریک برای اندازه گیری رطوبت خاک استفاده کردند. تاپ و همکاران (۱۶) از یک معادله درجه سه برای ارتباط بین ضریب دی الکتریک و میزان رطوبت حجمی استفاده نمودند (۱۶). دالتون و همکاران (۲) اولین معادله برای اندازه گیری EC کل خاک ( $\sigma_a$ ) با دستگاه TDR مطرح کردند.

مطالعات زیادی برای اندازه گیری مقدار رطوبت حجمی و میزان شوری خاک به وسیله TDR صورت گرفته است (۵، ۹، ۱۱ و ۱۵). همچنین چندین مدل برای ارتباط بین  $\sigma_p - \theta_v - \sigma_a$  ارائه شده است. که از این مدل‌ها برای به دست آوردن مقدار شوری محلول خاک ( $\sigma_p$ ) استفاده شده است (۶، ۷، ۸، ۱۲).

مدل دیگری که در این زمینه وجود دارد، مدل رودز و همکاران است (۱۲):

$$\alpha_a = \sigma_p (a\theta^2 + b\theta) + \sigma_s \quad (2)$$

که در آن a و b پارامترهای مخصوص خاک و  $\sigma_s$  هدایت سطحی در توده خاک است

مدل دیگری در این زمینه، مدل معلم و فریدمن است (۷):

$$\sigma_a = \sigma_p \theta^\beta / \theta_s + \sigma_s \quad (3)$$

در این رابطه  $\theta_s$  مقدار رطوبت خاک در حالت اشباع و  $\beta$  ضریب کالیبراسیون است. معلم و فریدمن مشخص کردند که مقدار  $\beta$  برای اکثر خاک‌ها حدود ۲/۵ می‌باشد. در این رابطه  $\theta_s$  برابر با میزان کل خلل و فرج خاک است که با استفاده از وزن مخصوص ظاهری و وزن مخصوص حقیقی (۲/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب) به دست می‌آید.

مالیکی و والزیک (۶) مدلی برای ضریب دی الکتریک ( $K_a$ ) بزرگتر از ۶ به دست آوردند. مدل تجربی به صورت زیر بود:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_a - 0.08}{(K_a - 6.2)(0.0057 + 0.000071S)} \quad (4)$$

1 - KBr  
2 - Trace

که در آن شیب برابر است با  $K_p/\sigma_a$ ، مقدار عرض از مبدأ ( $K_0$ ) به وسیله برازش دادن پارامترهای ضریب دی الکتریک و شوری ظاهری (کل) با شیب ثابت به دست آمد. مقدار  $K_p$  برابر با مقدار ضریب دی الکتریک آب آزاد در خلل و فرج خاک در دمای مخصوص می‌باشد. مقدار نهایی  $K_0$  برای تمام خاک‌ها برای هر نوع خاک با استفاده از شیب مدل به دست آمد این مقدار برای محاسبه  $\sigma_p$  انجام شد. نتایج در جدول ۲ آمده است.

برای هر سطح شوری در بافت‌های مورد مطالعه ضریب دی الکتریک در مقابل شوری ظاهری (کل) رسم شد و رابطه رگرسیونی تجربی بین این دو پارامتر به دست آمد و همچنین با محاسبه شیب مدل خطی ( $\sigma_a/K_p$ ) خط دیگری بر این داده‌ها برازش شد. با استفاده از این خط مقدار  $K_0$  به دست آمد. که این نمودار برای هر سطح شوری در بافت‌های مورد مطالعه رسم گردید. به عنوان نمونه در شکل (۱) این نمودار برای خاک سطحی کرج در سطح شوری  $1/53$  نشان داده شده است:

آزمایشگاه در حدود  $10^\circ$  درجه سانتیگراد بود. پارامترهای فیزیکی برای هر بافت مشخص شد این پارامترها شامل، ماده آلی، درصد رس، سیلت، شن و جرم مخصوص ظاهری است. نتایج در جدول (۱) آمده است.

در نهایت ۲۶۵ داده حاصل از قرائت ضریب دی الکتریک و شوری کل خاک بوسیله دستگاه TDR برای دامنه شوری آب بین  $0/41$  تا  $4/71$  دسی زمینس بر متر و دامنه رطوبت خاک بین  $0/071$  تا  $0/606$  متر مکعب در متر مکعب به دست آمد.

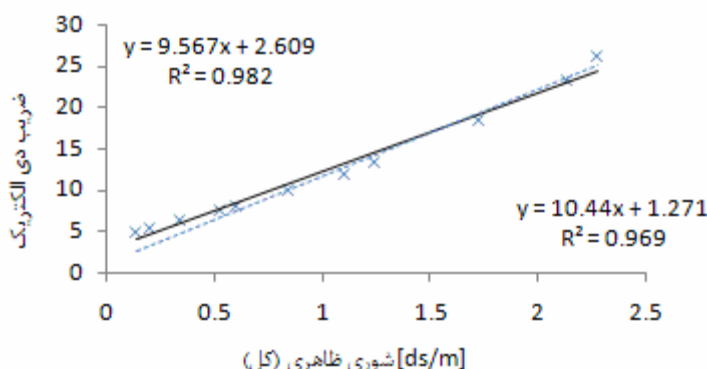
### نتایج و بحث

برای هر مقدار شوری اعمال شده ( $\sigma_p$ )، شیب و عرض از مبدأ رابطه بین شوری کل خاک ( $\sigma_a$ ) و ضریب دی الکتریک ( $K_a$ ) به دست آمد. شیب با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد:

$$\sigma_p = \frac{K_p \sigma_a}{K_w - K_a} \quad \text{معادله (۵)}$$

(جدول ۱) - خصوصیات فیزیکی خاک

میزان رس ( $g\ kg^{-1}$ )	میزان سیلت ( $g\ kg^{-1}$ )	میزان شن ( $g\ kg^{-1}$ )	میزان ماده آلی ( $g\ kg^{-1}$ )	چگالی ظاهری ( $g\ cm^{-3}$ )	عمق	محل نمونه بردارای
۲۸۶	۲۹۲	۴۱۲	۲۲.۳	۱.۲۹	سطحی	تاکستان
۵۶۶	۲۵۲	۱۸۱	۱۹.۳	۱.۵۲	عمقی	
۳۱۶	۱۷۲	۴۶۶	۱۸.۶	۱.۴۴	سطحی	اصفهان
۳۹۱	۲۴۲	۳۶۶	۱۳.۴	۱.۴۵	عمقی	
۶۱۶	۲۵۷	۱۲۶	۱۸.۶	۱.۱۸	سطحی	شال
۵۷۶	۲۴۷	۱۷۶	۱۲.۶	۱.۵۸	عمقی	
۳۱۸	۳۵۲	۲۶۶	۱۴.۹	۱.۳۸	سطحی	قرسن
۳۹۶	۴۱۷	۱۸۶	۶.۷	۱.۴۹	عمقی	
۲۶۰	۴۸۰	۲۶۰	۲۳.۳	۱.۴۱	سطحی	کرج
۲۶۰	۴۰۰	۳۴۰	۱۱.۲	۱.۶۵	عمقی	



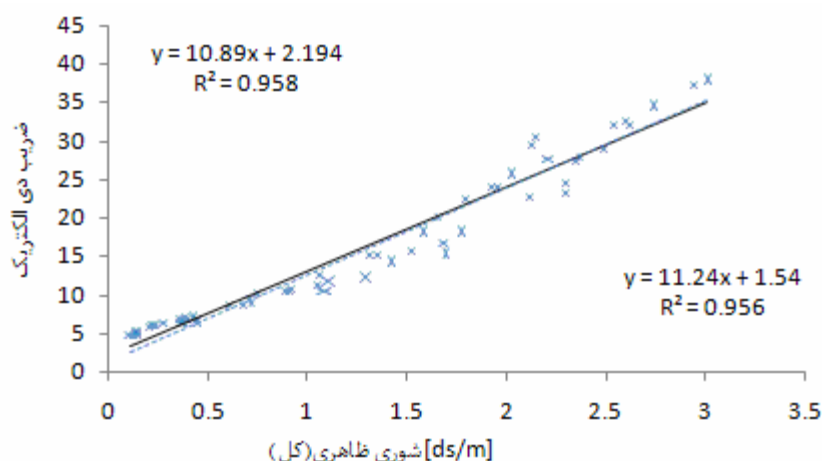
(شکل ۱) - اندازه گیری مقدار  $K_a$  و  $\sigma_a$  در خاک سطحی کرج با  $\sigma_p$  برای  $1/53$  خط پر (-) مقدار رابطه خطی بین  $K_a - \sigma_a$  و خط منقطع (.....) بر اساس معادله (۵) محاسبه گردیده است

(جدول ۲) - نتایج رگرسیون خطی بین اندازه گیری مقدار ضریب دی الکتریک و شوری کل خاک

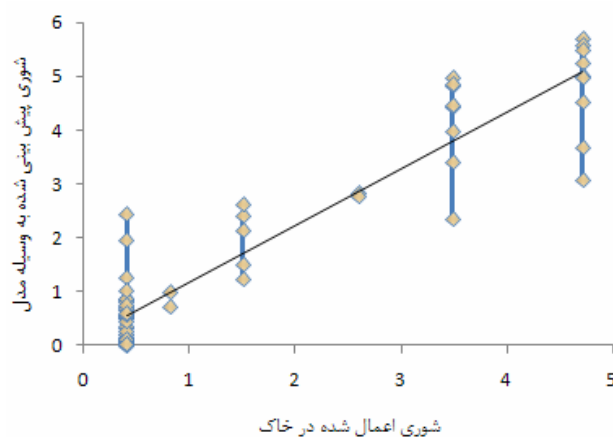
I <sup>2</sup>	K <sub>0</sub>		شیب خط (m dS <sup>-1</sup> )		σ <sub>p</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	دامنه رطوبت (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	بافت	محل نمونه برداری
	تجربی	مدل	تجربی	مدل				
۰.۹۸۸	۳.۲۱	۳.۰۴	۸.۸۹	۹.۰۰۴	۴.۷۱۵	۰.۰۷۲-۰.۳۸۴	رسی	عمقی تاکستان
۰.۹۸۱	۱.۵۸	۱.۴۹	۱۱.۵۴	۱۱.۵۹	۰.۴۱	۰.۰۸۵-۰.۴۹۹	رسی	سطحی شمال
۰.۹۸۱	۳.۰۴	۲.۰۷۳	۹.۹۳	۱۰.۵۴	۰.۸۱۵	۰.۰۷۵-۰.۴۴۶	رسی	عمقی شمال
۰.۹۸۷	۲.۸۱	۲.۶۸۳	۱۰.۸۲	۱۰.۸۲	۰.۴۱	۰.۰۷۵-۰.۴۴۳	رسی	عمقی شمال
۰.۹۷۲	۰.۵۱	۰.۴	۱۱.۹۷	۱۲.۰۲	۰.۴۱	۰.۰۹۵-۰.۶۰۶	رسی	سطحی تاکستان
۰.۹۸۶	۳.۲۹	۳.۰۴	۹.۱۱	۹.۳۰۴	۳.۴۹	۰.۰۷۶-۰.۳۶۵	لوم رسی	عمقی اصفهان
۰.۹۸۲	۲.۲۰	۲.۱۴	۱۲.۳۶	۱۲.۳۰	۰.۴۱	۰.۰۷۴-۰.۴۸	لوم رسی	سطحی قرسن
۰.۹۹۰	۲.۹۵	۲.۴۶	۹.۷۶	۱۰.۰۷	۲.۶	۰.۰۷۵-۰.۳۹۹	لوم رسی	عمقی کرج
۰.۹۸۸	۲.۰۸۸	۲.۰۱	۱۱.۱۲	۱۱.۱۶	۰.۴۱	۰.۰۷۵-۰.۴۴۲	لوم رسی	عمقی کرج
۰.۹۲۴	۳.۸۳	۲.۷۹	۵.۰۱	۶.۰۲۷	۱.۵۳	۰.۰۷۳-۰.۲۴۸	لوم رسی	سطحی اصفهان
۰.۹۲۸	۱.۴۶	۱.۴۹۹	۷.۷۳	۷.۸۴۶	۰.۴۱	۰.۰۷۷-۰.۳۲۴	لوم رسی	عمقی قرسن
۰.۹۶۰	۳.۵۳	۳.۲۸۵	۵.۲۶	۵.۴۵۷	۴.۷۱۵	۰.۰۹۵-۰.۲۲۵	لوم رسی	سطحی کرج
۰.۹۶۴	۳.۸۲	۳.۳۰۹	۴.۸۹	۵.۳۵۰	۰.۴۱	۰.۰۹۴-۰.۳۴۵	لوم رسی	عمقی کرج
۰.۹۸۲	۲.۶	۱.۲۷۱	۹.۵۶	۱۰.۴۴	۱.۵۳	۰.۰۷۴-۰.۳۹۸	لوم رسی	سطحی کرج
۰.۹۸۰	۱.۰۰۵	۰.۹۱۵	۱۱.۷۶	۱۱.۸۱	۰.۴۱	۰.۰۸۸-۰.۴۴۸	لوم رسی	عمقی کرج
۰.۹۸۲	۲.۱۴	۲.۰۵	۱۰.۹	۱۰.۹۶	۰.۴۱	۰.۰۹۵-۰.۳۸۳	لوم رسی	سطحی اصفهان
۰.۹۸۲	۳.۱۴	۲.۶۷۶	۸.۵۵	۸.۸۶۶	۲.۶	۰.۰۸۸-۰.۳۷۵	لوم رسی	عمقی کرج
۰.۹۷۹	۱.۵۶	۱.۵۰۵	۱۱.۶۶	۱۱.۷۰	۰.۴۱	۰.۰۷۱-۰.۴۶۹	لوم رسی	سطحی اصفهان

به منظور استفاده از یک K<sub>0</sub> مشخص برای هر بافت، داده‌های هر بافت در سطوح مختلف شوری بر روی یک نمودار منتقل شده و K<sub>0</sub> آن با استفاده از مدل خطی برازش داده شده با شیب حاصل از معادله (۵) محاسبه گردید به عنوان نمونه شکل (۲) این نمودار و K<sub>0</sub> برای بافت رسی را نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار دیده می‌شود با نزدیک شدن ضریب دی الکتریک و شوری ظاهری به صفر بعد از یک مقدار رابطه خطی بین این دو متغیر برقرار نیست. مقدار ضریب دی الکتریک در این نقطه حد آستانه نامیده می‌شود.

از این نمودارها میتوان استنباط کرد که داده‌ها دارای رابطه خطی خوب می‌باشند در جدول (۲) مختصر آنالیز برای حالت رگرسیونی و مدل (با استفاده از مدل (۵)) را برای تمام نمونه‌ها نشان می‌دهد. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده مقدار شیب محاسبه شده با مدل خطی بیشتر از شیب تجربی می‌باشد همچنین مقدار K<sub>0</sub> در مدل خطی کمتر از مقدار برآورد شده از رابطه تجربی برای تمام بافت‌های مورد مطالعه به دست آمد که این نتایج با مطالعات پرسون و همکاران (۱۰) مطابقت دارد. از آنجا که برای محاسبه شوری محلول خاک از مدل خطی استفاده می‌شود مقادیر K<sub>0</sub> محاسبه شده با مدل خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



(شکل ۲) - تمام اندازه گیری‌ها در بافت رسی خط منقطع بر اساس معادله ۵ به دست آمده است.



(شکل ۳) - مقدار  $\sigma_p$  به دست آمده و  $\sigma_a$  تخمین زده شده از معادله شماره (۵)

(جدول ۳) - مقدار کلی داده‌ها برای  $K_0$

$r^2$	$K_0$	نوع خاک
۰.۹۵۶	۱.۵۴	رسی
۰.۹	۱.۵۳	لوم رسی
۰.۸۷۲	۱.۶۵	رس سیلتی
۰.۹۶۵	۰.۰۵	لومی
۰.۹۷۳	۱.۵۱	لوم رسی شنی

با قرار دادن مقدار  $K_0$  به دست آمده برای هر بافت خاک در معادله (۵) مقدار شوری محلول خاک ( $\sigma_p$ ) در مقادیر شوری اعمال شده در خاک محاسبه شد و به منظور ارزیابی نتایج مدل خطی مقادیر شوری پیش بینی شده به ازای شوری اعمال شده بر روی نمودار پلات شد. این نمودار در شکل (۳) نشان داده شده است: مقدار  $r^2$  حاصل از برازش داده‌ها ۰/۸۸ به دست آمد. پرسون و

این مقدار آستانه ضریب دی الکتریک ( $K_a$ ) یک خصوصیت خاک و وابسته به مقدار آب پیوندی در خاک می‌باشد. نتایج پرسون و همکاران نشان داد که این مقدار برای بافت شنی حد آستانه برابر با ضریب دی الکتریک ۵ بود (۱۰). در این مطالعه برای بافت رسی حد آستانه برابر با ضریب دی الکتریک ۷ به دست آمد و همچنین این حد آستانه برای دیگر بافت‌های مورد مطالعه به دست آمد. در زیر این حد منحنی  $\sigma_a - K_a$  تمایل دارد به مقدار  $K_a$  در خاک خشک برسد جایی که مقدار  $\sigma_a$  نزدیک به صفر شود. یکی از پدیده‌های قابل ذکر در این اندازه گیری می‌توان به این نکته اشاره کرد که مقدار ضریب دی الکتریک داخل خلل و فرج خاک ( $K_p$ ) از مقدار ضریب دی الکتریک آب آزاد کمتر است. یک دلیل برای این پدیده به خاطر تعامل بین ملکول‌های آب سطح ویژه رس یا ماده آلی در خاک می‌باشد که منجر به کاهش آب آزاد گردیده و مقدار  $K_p$  کمتر می‌شود. نتایج محاسبه مقدار  $K_0$  برای بافت‌های مورد مطالعه در جدول (۳) آمده است.

### نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از معادله هیل هورست (۴) برای اندازه گیری مقدار شوری محلول خاک در بافت‌های مختلف نتایج یکسانی نشان نمی‌دهد. این معادله در خاک‌های سبک نتایج قابل قبولی برای اندازه گیری مقدار شوری محلول خاک نشان می‌دهد اما در بافت‌های سنگین به دلیل تاثیر آب باند شده در سطح ذرات رس نتایج قابل قبولی نشان نمی‌دهد. بر اساس این معادله مقدار ضریب دی الکتریک فاز مایع ۸۰ در نظر گرفته شده است. در بافت‌های سنگین به دلیل جذب الکترو استاتیک بالا از سطح ذرات رس باعث آزادی کمتر ملکول‌های آب در اطراف ذرات خاک شده و در نتیجه ضریب دی الکتریک در فاز مایع در این خاک‌ها کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد اگر به جای ضریب دی الکتریک ۸۰ مقدار ضریب دی الکتریک واقعی برای این خاک‌ها محاسبه شود و در فرمول قرار داده شود این مدل میتواند نتایج قابل قبول برای خاک‌های با بافت سنگین نیز نشان دهد.

### قدردانی

این تحقیق در مرکز تحقیقاتی کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان انجام شد و بدینوسیله از همکاری صمیمانه جناب آقای مهندس اسکندری تشکر می‌شود.

همکاران برای خاک هائی با بافت سبک این مقدار را ۰/۹۷ به دست آوردند (۱۰). در صورتی که مقدار  $K_0$  برابر با ۴/۱ انتخاب شود (مقدار پیشنهادی به وسیله هیل هورست (۴)) مقدار  $I^2$  به کمتر از ۰/۸۸ می‌رسد (۱۰).

کاهش مقدار  $I^2$  در بافت‌های مورد مطالعه (متوسط تاسنگین) نسبت به خاک‌های با بافت سبک به علت مقدار زیاد رس و همچنین سطح ویژه زیاد در این نوع خاک‌ها باشد. در معادله شماره (۲) مقدار  $K_p$  ثابت و برابر با ۸۰ در نظر گرفته شده است. از آنجا که در بافت‌های سنگین به علت سطح ویژه زیاد و بی حرکت ماندن ملکول‌های آب در نزدیک سطح ذرات مقدار ضریب دی الکتریک کمتر از ۸۰ شده و در بعضی از خاک‌ها به ۴۰ تا ۵۰ نیز رسیده است. در صورتی که این مقدار برای بافت‌های سبک به مقدار ضریب دی الکتریک آب آزاد نزدیکتر است (۱۰). بنابراین پیشنهاد می‌شود برای بافت‌های سنگین به جای ضریب دی الکتریک ۸۰، بر اساس نوع بافت مقدار ضریب دی الکتریک داخل خلل و فرج ( $K_p$ ) مشخص گردد و از این مقدار برای مدل استفاده شود. این ضریب برای بافت رسی در این مطالعه ۵۶ به دست آمد. بنابراین برای استفاده از مدل خطی (۵) باید از  $K_p$  (ضریب دی الکتریک در خلل و فرج خاک) متناسب با بافت خاک برای به دست آوردن مقدار شوری محلول خاک استفاده کرد.

### منابع

- 1- Bohn H.L., Ben-asher J., Tabbara H.S. and Marwan M. 1982. Theories and tested of electrical conductivity in soil. Soil Sci. Soc Am. J. 46: 1143-1146.
- 2- Dalton F.N., Herkelrath W.N., Rawlins D.S. and Rhoades J.D. 1984. Time-domain reflectometry: Simultaneous measurements of soil water content and electrical conductivity with a single probe. Science 224: 989-990.
- 3- Halvorson A.D., J. D. Rhodes and C.A. Ruele. 1977. Soil salinity four electrode conductivity of the soil. Soil Sci. Soc Am. J. 41: 966-971.
- 4- Hilhorst M. A. 2000. A pore water conductivity sensor. Soil Sci. Soc Am. J. 64: 1922-1925.
- 5- Kachanoski R.C., Pringle E. and Ward A. 1992. Field measurements of solute travel limes using lime domain reflectometry. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 47-52.
- 6- Malicki M. A. and Walczak, R. T. 1999. Fvalualimj soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. Em: J. Soil Sci. 50: 505-514.
- 7- Mualem Y. and Friedman S. P. 1991. Theoretical prediction of electrical conductivity in saturated and unsaturated soil. Wat. Résour: Res. 27: 2771 -2777.
- 8- Persson VI., Berndtsson R. and Sivakumar B. 2001. Using neural networks for calibration of time-domain reflectometry measurements. Hydrol. Sci. J. 46(3), 389-398.
- 9- Persson, M. and Berndtsson, R. 1998 Estimating transport parameters in an undisturbed soil column using time domain reflectometry and transfer function theory. J. Hydrol. 205: 232-247.
- 10- Persson M., Cintia B.V. 2003. Estimating soil solution electrical conductivity from time domain reflectometry measurements using neural networks. J. Hydrol. 273:249-256.
- 11- Persson M.L., Berndtsson R. Nasri S., Albergel J., Zante P. and Yumegaki Y. 2000. Solute transport and water content measurements in clay soils using lime domain reflectometry. Hydrol. Sci. J. 45(6): 833-847.
- 12- Rhoades J. D., Ratts P. A. and Prather R. 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 40, 651-655.
- 13- Rhoades J. and D. A. DHalvorson. 1977. Electrical conductivity methods for detecting and delineating saline seeps and measuring salinity in northern Great Plains soils. ARS W-42.USDA-ARS,Berekeley,CA.

- 14- Rhoades J. D., and Ingvalson .1971. Determining salinity in field soil with soil resistance measurements. Soil Sci. Soc. Am. Pro. 35: 54-60.
- 15- Rislcr P. D., Wraith, J. M. and Gaber II. M. 1996. Solute transport under transient flow conditions estimated using lime domain reflectometry. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1297-1305.
- 16- Topp G. C, Davis J. L. and Annan A. P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. Wat. Resour: Res. 16: 574-582.



## Evaluating the Linear Model of Dielectric Constant-Electrical Conductivity for Estimation of Soil Solution Electrical Conductivity with TDR

D. Namdar Khojasteh<sup>1\*</sup> – M. Shorafa<sup>2</sup> – M. Fazeli Sangani<sup>3</sup>

### Abstract

Time domain reflectometry (TDR) is a widely used method for measuring the dielectric constant ( $K_a$ ) and bulk electrical conductivity ( $\sigma_a$ ) in soils. The TDR-measured  $\sigma_a$  and  $K_a$  can be used to calculate the soil solution electrical conductivity, ( $\sigma_p$ ). A theoretical model describing a linear relationship between bulk electrical conductivity,  $\sigma_a$ , and dielectric constant,  $K_a$ , in moist soil was already presented. By using this linear relationship, the pore water electrical conductivity,  $\sigma_p$ , can be estimated in a wide range of soil types without soil-specific calibration. The objective of this study was to evaluate the linear model presented previously for TDR. The previous study was on light texture soils but in this study we used clay, clay loam, loam, silty clay and silty clay loam textures. The results showed that the linear model performed well for light texture soils but not for heavy textures. Such poor result for heavy texture is mainly due to this fact that dielectric constant pore water was lower than 80 which was proposed as default by model. This study showed that for heavy texture soils dielectric constant of pore water is smaller than light textured soils.

**Keywords:** Time-domain Reflectometry, Electrical conductivity, Dielectric constant

---

1,2,3 – MSc Student, Assistant Prof. and MSc Student, Dept. of Soil Science, University of Tehran  
(\* - Corresponding author Email: davoodnamdar@gmail.com)