نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۸۹، ص. ۹۶۵-۹۵۵

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 5, Nov-Des 2010, p. 955-965

تعیین هدایت الکتریکی ظاهری خاک به روش تماس مستقیم

جلال برادران مطیع[1*]- محمد حسین آق خانی[2]- محمد حسین عباسپور فرد[3]- امیر لکزیان[4]

تاریخ دریافت:۸۸/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۶

چکیده

از روشهای اندازه گیری در محل هدایت الکتریکی خاک، می توان به روش تماس مستقیم الکترود ها با خاک (روش ونر) اشاره کرد. روش تماس مستقیم، هدایت الکتریکی ظاهری خاک را به عواملی نظیر رطوبت، درصد رس و فشردگی خاک مرتبط می داند. این تحقیق اثر شکل الکترود (میله ای و صفحه ای) و نوع جریان الکتریکی (مستقیم و متناوب) را در دقت اندازه گیری هدایت الکتریکی، جهت طراحی دستگاه تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک، مورد بررسی قرار داده است. بدین منظور یک نمونه اولیه از دستگاه اندازه گیری هدایت الکتریکی به روش تماس مستقیم ساخته شد. دستگاه به کمک یک طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با سه متغیر اصلی میزان شوری خاک (پنج سطح)، نوع الکترود (دو سطح) و جریان الکتریکی (دو سطح) ارزیابی شد. این آزمایش در خاک چهار منطقه مختلف اطراف شهر مشهد با میزان شوری و درصد رس متفاوت تکرار گردید. نتایج با مقادیر EC اندازه گیری شده به روش عصاره یک به یک، توسط نرم افزار SPSS 17 مقایسه و تحلیل شد و تاثیر معنی دار نوع الکترود و جریان الکتریکی مشاهده گردید. ضریب همبستگی تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش تماس مستقیم با هدایت الکتریکی آزمایشگاهی در تیمار های مختلف و خاک های مختلف بین ۰/۹۴ تا ۰/۹۹ بدست آمد. بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از الکترود صفحه ای و جریان متناوب به منظور طراحی دستگاه تهیه نقشه هدایت الکتریکی مزرعه توصیه می شود.

واژه های کلیدی: هدایت الکتریکی، روش تماس مستقیم(ونر)، الکترود صفحه ای، الکترود میله ای

مقدمه

تجمع نمک و افزایش شوری خاک معمولاً ناشی از فرایند تبخیر و خروج آب توسط گیاهان است. نمک موجود در آب آبیاری در خاک باقی می ماند در حالیکه آب خالص توسط فرایند رشد گیاه و تبخیر از خاک خارج می شود. شوری خاک با کاهش رشد گیاه، کاهش تولید و عملکرد محصولات کشاورزی آشکار می شود (۱). به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی در اثر شوری خاک، جذب آب توسط گیاه مشکل می شود. همچنین شوری، تعادل عناصر غذایی گیاه را نیز بر هم می زند. به علاوه، ترکیب نمک های موجود، بر تبادلات یونی بین ذرات خاک تاثیر می گذارد. ترکیب نمک ها، بر اساس درجه شوری و ترکیب یون های قابل تبادل، بر قابلیت نفوذ آب و حاصلخیزی خاک موثر می باشد. به دلیل سهولت اندازه گیری و قابلیت اطمینان بالای نتایج، اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک به قابل اعتماد ترین و رایج ترین روش جهت مشخص کردن متغیر های مزرعه در کشاورزی دقیق تبدیل شده است (۳).

به طور کلی، پنج روش جهت تعیین شوری خاک وجود دارد: ۱- مشاهده بصری رشد گیاهان ۲- هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۳- اندازه گیری در محل هدایت الکتریکی بوسیله TDR[5] ۴- اندازه گیری غیر مخرب هدایت الکتریکی به روش القای مغناطیسی ۵- اندازه گیری در محل هدایت الکتریکی به کمک تعیین مقاومت الکتریکی به روش ونر (بازتاب سنجی زمانی امواج). مشاهده بصری رشد گیاهان در نقاط مختلف مزرعه می تواند بیانگر خصوصیات زمین و شوری خاک باشد. این روش به دلیل آنکه اطلاعات کمی در اختیار قرار نمی دهد، نمی تواند در تصمیم گیری و اجرای برنامه کشاورزی دقیق مورد استفاده قرار گیرد. عملاً، هدایت الکتریکی خاک را در عصاره اشباع تعیین می کنند. به منظور اجرای کشاورزی دقیق اندازه گیری سریع و آسان شوری خاک در محدوده رطوبت مزرعه بسیار مطلوب است اما با این روش نمی توان به این هدف دست یافت. تعیین هدایت الکتریکی (EC) خاک نیازمند تهیه نمونه های خاک از

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشیار گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: (Email: Jalal_jbm@yahoo.com
۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

5- Time Domain Reflectometry

مزرعه، انتقال به آزمایشگاه و طی فرایند تهیه عصاره و اندازه گیری هدایت الکتریکی آن است. این مراحل بسیار وقت گیر و گاهاً پر هزینه می باشند. به دلیل زمان بر بودن عملیات آزمایشگاهی و هزینه‌های تهیه عصاره خاک، از دو دهه پیش تلاش ها به سمت تعیین هدایت الکتریکی درجا (EC) از توده خاک متمایل شده است، و آن را هدایت الکتریکی ظاهری[1] (EC_a) یا هدایت الکتریکی توده[2] نامیدند. تعیین شوری به وسیله TDR به اندازه کافی ساده، سریع و کم هزینه نیست تا بتوان از آن در مقیاس مزرعه ای استفاده کرد. این روش نیازمند استفاده از دستگاههای گران قیمت می باشد و کاربرد عملی آن در گلخانه های تحقیقاتی محدود می باشد. در روش القای مغناطیسی موج الکترو–مغناطیسی با دامنه و طول موج مشخص به درون خاک ارسال می شود، موج موجب القای جریان الکتریکی ضعیفی در خاک می شود. جریان الکتریکی حاصل میدان مغناطیسی در اطراف خود تولید کرده و این میدان بصورت یک موج الکترو–مغناطیسی ثانویه به سمت دستگاه بازتابش می شود. طول موج و دامنه موج باتابش شده متناسب با هدایت الکتریکی ظاهری خاک در آن محل است. از مزایای این روش می توان به غیر مخرب بودن و سبکی دستگاه اشاره کرد. و معایب آن شامل خطای زیاد ناشی از تغییر فاصله با سطح خاک، خطای ناشی از پوشش گیاهی و عدم امکان محاسبه دقیق عمق اندازه گیری می باشد. روش دیگر اندازه گیری مقاومت الکتریکی خاک به روش تماس مستقیم (ونر[3]) می باشد. در این روش الکترود های فلزی به درون خاک نفوذ داده می شوند. با اعمال جریان الکتریسیته به الکترود ها می توان مقاومت الکتریکی ویژه و سپس هدایت الکتریکی ظاهری را محاسبه کرد. در اندازه گیری EC_a به روش تماس مستقیم، فقط هدایت الکتریکی محلول خاک دخیل نیست بلکه هدایت الکتریسیته میان ذرات جامد و یون های قابل تبادل که در بخش نیمه جامد مواد رسی و معدنی خاک وجود دارد، را نیز شامل می شود (۲). هدایت الکتریکی در خاک‌هایی که به اندازه کافی رطوبت دارند تحت تاثیر نمک های محلول موجود در آب درون حفره ها و منافذ می باشد، در نتیجه اندازه گیری هدایت الکتریکی توده خاک رابطه نزدیکی با شوری خاک دارد (۳).

اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک به روش های مقاومت الکتریکی(روش ونر) و القای مغناطیسی هر دو برای فعالیت های کشاورزی دقیق بسیار مناسب می باشند. زیرا حجم نمونه اندازه گیری شده توسط آنها زیاد است که موجب دستیابی به مقیاس واقعی در اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک می شود. از میان روش های اندازه گیری شوری خاک، اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری به روش مقاومت الکتریکی و القای مغناطیسی بیشترین کاربرد و توانایی را جهت تعیین پراکندگی شوری خاک در مقیاس مزرعه ای می باشند (۳و۴). هر دو این روش ها پارامتر هدایت الکتریکی ظاهری خاک (EC_a) را اندازه گیری می کنند. در اندازه گیری به روش تماس مستقیم، لازم است تماس کافی بین خاک و الکترود های نفوذ کننده برقرار باشد، از اینرو این روش سطح خاک را تخریب کرده و در خاک های خشک و سنگ دار از قابلیت اطیمنان کمتری نسبت به روش القای مغناطیسی برخوردار است (۵). روش ونر جهت اندازه گیری مقاومت الکتریکی ویژه خاک به منظور محاسبه اثرات خوردگی و حفاظت کاتدی لوله های نفت و گاز در اعماق خاک توسعه داده شده است. در این مقاله قابلیت کاربرد روش ونر در اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک در محدوده رشد ریشه گیاه بررسی شد.

روش تماس مستقیم (روش ونر)به دلیل انعطاف پذیری که دارد برای کاربرد های مزرعه ای دارای مزیت است. حجم و عمق اندازه‌گیری به راحتی با تغییر فاصله بین الکترودها قابل تنظیم است (۶ و ۷). محاسبه عمق نفوذ موثر و حجم خاک مورد اندازه گیری در روش القای مغناطیسی امری پیچیده می باشد در حالیکه در اندازه گیری به روش مقاومت الکتریکی عمق نفوذ و حجم خاک تحت آزمون از روابط ساده ریاضی قابل محاسبه می باشد (۸). در مواد همگن، مقاومت الکتریکی معکوس هدایت الکتریکی می باشد. دستگاه های اندازه گیری هدایت الکتریکی با معکوس کردن مقاومت الکتریکی ظاهری، مقدار هدایت الکتریکی ظاهری را بدست می آورند.

در روش ونر چهار الکترود به فواصل مساوی a از یکدیگر بروی خط مستقیم به عمق b در خاک قرار داده می شوند(شکل ۱). جریان الکتریکی I به دو الکترود بیرونی اعمال می شود، سپس ولتاژ (V) بین جفت الکترود میانی اندازه گیری می گردد. نسبت V/I مقدار مقاومت الکتریکی متقابل را بر حسب اهم بدست می دهد. ونر برای محاسبه مقاومت الکتریکی ویژه در خاکهای همگن با مقاومت الکتریکی R رابطه ۱ را از تحلیل میدان الکتریکی درون بلوک خاک فقط برای الکترود های میله ای گسترش داده است (۱۰).

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1+\frac{2a}{\sqrt{a^2+b^2}}-\frac{2a}{\sqrt{4a^2+4b^2}}} \qquad (۱)$$

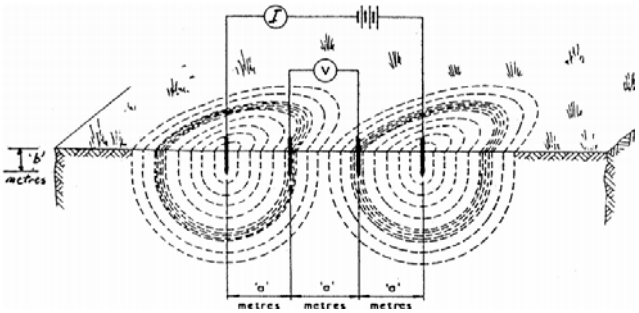
رابطه ۱ در مورد چهار الکترود با نوک های کوچک که در عمق b قرار گرفته اند صادق است. هنگامیکه عمق قرار گیری الکترودها درون خاک کمتر از یک بیستم فاصله بین آنها باشد مقدار مقاومت الکتریکی ویژه را با تقریب خوبی می توان از رابطه ۲ بدست آورد (۱۰).

$$\rho = 2\pi Ra \quad (\Omega\text{-m}) \qquad (۲)$$

1 -Apparent Soil Electrical conductivity

2- Bulk Soil Electrical conductivity

3- Wenner direct contact method



شکل ۱- آرایش الکترودها در اندازه گیری مقاومت الکتریکی ویژه به روش ونر
I: آمپر متر. V: ولت متر. a: فاصله بین الکترود ها. b: عمق نفوذ الکترود در خاک

جدول ۱- مشخصات بافت و هدایت الکتریکی خاک های مورد آزمون

نام محل نمونه گیری	رس٪	سیلت٪	شن٪	هدایت الکتریکی (µS/cm)	بافت خاک
روستای امان آباد	۱۶	۴۲	۴۲	۱۶۵۸۰	لومی
روستای تنگلشور	۲۰	۴۰	۴۰	۳۲۱	لومی
مزرعه طرق	۲۶	۴۸	۲۶	۴۳۴	لومی
پردیس دانشگاه	۲۸	۴۸	۲۴	۲۸۵	لومی رسی

این روابط با فرض اینکه مقاومت الکتریکی در تمام حجم خاک یکنواخت است بنا شده اند، در حالیکه محیط خاک این گونه نیست. بدین دلیل مقاومت الکتریکی ویژه بدست آمده با مقادیر a مختلف، با هم متفاوت می باشند. مقاومت الکتریکی ویژه بدست آمده را مقاومت ویژه ظاهری خاک می نامند.

طبق مطالعات انجام شده توسط ونر، عمق نفوذ موثر جریان الکتریکی برابر با فاصله بین الکترودها است(۱۱). بدین دلیل مقدار مقاومت ویژه با فاصله بین الکترودی a را با تقریب خوبی، میانگین مقاومت الکتریکی ویژه خاک تا عمق a در نظر می گیرند. در نتیجه هدایت الکتریکی ظاهری خاک به طور میانگین تا عمق a از رابطه ۳ بدست می آید.

$$EC_a = \frac{1}{\rho} \qquad (۳)$$

هدف از این تحقیق بررسی عملکرد و کارایی روش ونر در کشاورزی، تعیین اثر شکل الکترودها و نوع جریان الکتریکی مورد استفاده بر نتایج آن می باشد. نتایج این مطالعه به عنوان اطلاعات پایه جهت ساخت دستگاه و تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه استفاده شد.

مواد و روش ها

به منظور امکان سنجی تعیین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از جریان الکتریکی یک سری آزمایش روی خاک هایی از مناطق مختلف اطراف مشهد با درصد های رس و شوری های متفاوت در محیط آزمایشگاه تعریف شد. در کل چهار نمونه خاک با میزان رس ۱۶، ۲۰، ۲۶ و ۲۸ درصد به ترتیب از روستای امان آباد، روستای تنگلشور، مزرعه تحقیقاتی طرق و مزرعه پردیس دانشگاه فردوسی تهیه شد. درصد ذرات تشکیل دهنده، هدایت الکتریکی و بافت نمونه های خاک در جدول ۱ آمده است. از هر کدام از نمونه های خاک ۵ سطح شوری با مخلوط کردن با آب شور چشمه روستای امان آباد با هدایت الکتریکی ۱۰ mS/cm، تهیه شد. به منظور تعیین بافت نمونه‌های خاک از روش هیدرومتری با چهار قرائت استفاده شد. قرائت ها در فواصل ۳۰ ثانیه، ۶۰ ثانیه، ۱/۵ ساعت و ۲۴ ساعت صورت گرفت.

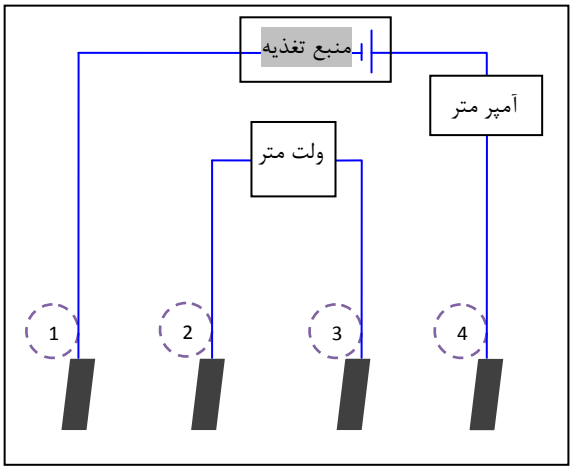
در روش تماس مستقیم (ونر) عمق موثر تعیین مقاومت الکتریکی با تقریب خوبی برابر فاصله بین جفت الکترود میانی است. از اهداف این تحقیق تعیین هدایت الکتریکی ظاهری خاک در منطقه موثر رشد ریشه (۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر) است. جهت بررسی میزان دقت روابط ۱ و ۳[۱] در فواصل بین الکترودی کوچک (۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر) و تعیین اثر شکل الکترود و نوع جریان الکتریکی یک سری آزمایش بر

۱- ونر این روابط را برای فواصل بین الکترودی بزرگ (۱/۵ تا ۴ متر) گسترش داده است.

اساس طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی طراحی و اجرا شد. فاکتور ها شامل شوری خاک با ۵ سطح(بدون اضافه کردن آب شور و مخلوط با ۲، ۴، ۶ و ۸ لیتر آب شور)، الکترود با دو سطح (صفحه ای ، میله ای) و جریان الکتریکی با دو سطح (مستقیم، متناوب) می باشند. جهت بررسی تکمیلی این آزمایشات در خاک نمونه برداری شده از چهار منطقه مختلف اطراف مشهد (روستای امان آباد، روستای تنگلشور، پردیس فردوسی، مزرعه طرق) تکرار گردید تا به طور ضمنی اثر بافت خاک و میزان رس در نتیجه هدایت الکتریکی اندازه گیری شده بررسی شود.

خاکها درون جعبه های مخصوص کشت گلخانه ای از جنس پلاستیک با ابعاد داخلی ۵۷ × ۳۷× ۳۰ سانتیمتر و حجم ۰/۰۶۳۲۷ متر مکعب قرار داده شدند. جعبه ها از جنس پلاستیک فشرده بوده و در کف دارای سوراخ های زهکش می باشند. بدنه پلاستیکی عایق جریان الکتریکی است، در نتیجه تاثیری روی میدان الکتریکی ایجاد شده در خاک ندارد. به منظور حذف اثر رطوبت بر میزان هدایت الکتریکی قرائت شده، تمامی تکرار ها و آزمایشات در محدوده رطوبت بر پایه خشک ۱۰ درصد انجام شد. از هر نمونه خاک ۵ سطح شوری تهیه گردید. سطح اول شوری، شوری طبیعی خاک بود. سطوح دوم تا پنجم شوری به ترتیب با اضافه کردن ۲، ۴، ۶ و ۸ لیتر آب شور به جعبه های خاک آماده شدند. فشردگی خاک یکی از عوامل موثر در عبور جریان الکتریسیته می باشد، بدین منظور جهت حذف اثر تغییرات فشردگی خاک در مراحل مختلف آزمایش، فشردگی نمونه ها درون جعبه های خاک ثابت نگه داشته شد.

جهت انجام آزمایش، نمونه های خاک کاملا مخلوط شدند تا رطوبت در تمام حجم جعبه یکنواخت شود. سپس الکترود ها در فواصل ۱۰ سانتیمتر و عمق نفوذ ۷ سانتیمتر درون خاک کاشته می شدند. الکترود های ۱ و ۴ (بیرونی) به منبع تغذیه ۶۰ ولت و آمپر متر دیجیتال سری می شدند. و الکترودهای ۲ و۳ (میانی) به ولت متر دیجیتال موازی شدند (شکل ۲). با برقراری جریان الکتریکی مقادیر اندازه گیری شده توسط ولت متر و آمپر متر در جداول تهیه شده، یادداشت شد. زمان قرائت مقادیر ولتاژ و آمپراژ بین ۲ تا ۵ ثانیه پس از برقراری جریان و پایدار شدن مقدار اندازه گیری شده بود. این مقادیر در سه تکرار با قطع جریان و وصل مجدد، اندازه گیری شدند. پس از پایان هر دوره آزمایش از سه نقطه جعبه، نمونه خاک جهت تعیین محتوی رطوبتی گرفته شد. درصد رطوبت بر پایه خشک این نمونه ها، بوسیله خشک کردن در آون تعیین و میانگین سه تکرار به عنوان محتوی رطوبتی کل ظرف در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه لازم بود آزمایشات در یک محتوی رطوبتی انجام شوند، اگر درصد رطوبت تعیین شده در رنج ۹/۵ تا ۱۰/۵ درصد قرار نمی گرفت، تمهیداتی جهت کاهش یا افزایش رطوبت جعبه خاک اتخاذ می گردید و آزمایشات تعیین هدایت الکتریکی ظاهری تکرار می شد. از هر سطح شوری، یک نمونه خاک تهیه و هدایت الکتریکی آزمایشگاهی[1] آن در عصاره یک به یک، توسط دستگاه هدایت سنج[2] اندازه گیری شد.



شکل۲ – شماتیک مدار اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک.

مشخصات آب شور

به منظور بررسی صحت روابط و فرض های اولیه لازم بود تا آزمایشات روی خاک هایی با درجات شوری مختلف انجام پذیرد. تهیه خاک با درجات شوری مختلف و نزدیک به خاک های موجود در طبیعت مستلزم اضافه کردن نمکهای متفاوتی می باشد. با بررسی های انجام شده مشخص شد آب چشمه موجود در روستای امان آباد از درجه شوری بالایی برخوردار بوده و ترکیب خوبی از نمک های محلول را دارا است. بدین منظور از هر کدام نمونه ها ۵ سطح شوری با مخلوط کردن آنها با آب شور تهیه شده از چشمه روستای امان آباد تهیه گردید. مشخصات آب مورد نظر در جدول ۲ آمده است.

منبع تغذیه

دستگاه های تجاری که مقاومت الکتریکی زمین[3] را بر پایه روش ونر اندازه گیری می کنند اکثراً از ولتاژ ۶۰ ولت روی جفت الکترود بیرونی استفاده می کنند. بدین منظور در این تحقیق از ولتاژ ۶۰ ولت با نوع جریان الکتریکی مستقیم و متناوب استفاده شد. هر چند در تئوری روش ونر مقدار ولتاژ اعمالی مهم نیست، اما ولتاژ های پایین دقت اندازه گیری را کاهش می دهند. همچنین دسترسی به ولتاژ های بالا در مزرعه علاوه بر مشکلات فنی می تواند برای کاربر دستگاه خطرناک باشد. جریان متناوب از یک ترانس کاهنده تبدیل ۲۲۰ به ۶۰ با فرکانس ۵۰ هرتز و جریان مستقیم با ولتاژ ۶۰ ولت از

1- Laboratory EC

۲- کنداکتومتر جن – وی(Jenway) مدل ۴۳۱۰

3- Megger

یک منبع تغذیه آزمایشگاهی دوبل با قابلیت تنظیم ولتاژ از ۰ تا ۶۰ ولت و جریان از ۰ تا ۳ آمپر تامین گردید.

الکترود ها

جهت تعیین اثر شکل الکترود ها بر نتایج حاصل از اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری ، از دو نوع الکترود صفحه ای و میله ای استفاده شد. الکترود میله ای در اندازه گیری مقاومت الکتریکی زمین به روش ونر کاربرد دارد ولی استفاده از آن در حال حرکت، سطح تماس موثر الکترود با خاک را کاهش می دهد بدین منظور الکترود صفحه ای نیز بکار برده شد. الکترود های صفحه ای را می توان جهت تهیه نقشه هدایت الکتریکی مزرعه در برنامه کشاورزی دقیق در حال حرکت نیز استفاده کرد. شرکت وریس در دستگاه اندازه گیری هدایت الکتریکی خود به منظور کاهش مقاومت کشش و سایش الکترود ها، الکترود های صفحه ای را به شکل بشقاب های گردان بکار برده است (۱۲). این در حالی است که میدان الکتریکی حاصل در اطراف الکترود های مستطیل شکل یکنواخت تر و همگون تر از الکترود های بشقابی می باشد.

بدین منظور دو سری آزمون ترتیب داده شد که در هر سری از یک نوع الکترود استفاده گردید. از هر نوع الکترود ۴ عدد از جنس فولاد ساختمانی با ابعاد جدول ۳ ساخته شد. لبه الکترود های صفحه ای به منظور حذف اثر شکل لبه بر تشکیل میدان الکتریکی تیز شد. همچنین انتهای الکترود های میله ای نیز به شکل نیم کره گرد شدند. در تمام مراحل آزمایشات عمق نفوذ الکترود ها درون خاک ۷ سانتیمتر و فاصله بین آنها ۱۰ سانتیمتر ثابت در نظر گرفته شد. عمق ۷ سانتیمتر با توجه به ابعاد جعبه های خاک انتخاب شد.

نتایج و بحث

جداول۴ تا ۷ نمایانگر تجزیه واریانس تیمار ها و آزمون F بین سطوح فاکتور ها در در خاک مناطق مختلف می باشند. در مقایسه میانگین ها نشان می دهد که اثر نوع الکترود و نوع جریان الکتریکی مورد استفاده در اندازه گیری پارامتر هدایت الکتریکی ظاهری خاک معنی دار است.

نتایج تجزیه واریانس در جداول ۴ تا ۷ به طور مشابه اختلاف معنی داری بین تمام سطوح تیمار ها نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که اندازه گیری هدایت الکتریکی با الکترود میله ای و الکترود صفحه ای در خاک های مختلف با بافتها و درصد های رس متفاوت، تفاوت معنی داری را نشان می دهد. همچنین مشابه این مطلب در مورد استفاده از جریان الکتریکی مستقیم و جریان الکتریکی متناوب با فرکانس ۵۰ Hz صادق است. اثرات متقابل بین تیمار ها به جز اثر متقابل بین الکترود و جریان معنی دار است که بیانگر عدم وابستگی نتایج در سطح احتمال ۱ درصد است. به دلیل آنکه در تیمار نوع الکترود و فرکانس جریان الکتریکی تنها دو سطح وجود دارد مقایسه میانگین لازم نیست و آزمون F کفایت می کند. نکته قابل توجه در جدول تجزیه واریانس تیمار ها در خاک روستای امان آباد با میزان ۱۶ درصد رس (جدول ۶) عدم معنی داری اثر فرکانس است. این امر نشان دهنده آن است که تغییر فرکانس جریان الکتریکی عبوری از خاک های بسیار شور (هدایت الکتریکی ۱۶mS/cm) در اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری، تاثیر معنی داری ندارد.

جدول ۲ – مشخصات آب شور مورد استفاده جهت تهیه سطوح شوری نمونه های خاک

EC(ms/cm)	۹/۹۹	PH	۶/۸
HCO_3^-(meq/lit)	۲۶/۶	K^+(mg/lit)	۱۲۸/۱۴۶
Na^+(g/lit)	۲/۳۷	CO_3^{-2}(meq/lit)	۰
Mg^{+2}(meq/lit)	۶/۱	Cl^-(meq/lit)	۱۰۹/۶
		Ca^{+2}(meq/lit)	۵/۴

جدول ۳ – مشخصات ابعادی الکترود های مورد استفاده در اندازه گیری هدایت الکتریکی

الکترود صفحه ای		الکترود میله ای	
جنس	فولاد ساختمانی	جنس	فولاد ساختمانی
طول	۱۰۰ میلیمتر	قطر	۱۵ میلیمتر
عرض	۵۰ میلیمتر	طول	۲۰۰ میلیمتر
ضخامت	۲ میلیمتر	عمق نفوذ در خاک	۷۰ میلیمتر
عمق نفوذ در خاک	۷۰ میلیمتر	شعاع نیم کره سر	۷/۵ میلیمتر
زاویه تیزی لبه	۶۷ درجه		

شکل۳- راست: چیدمان قرار گیری الکترود ها درون جعبه خاک، چپ: الکترود صفحه ای و الکترود میله ای

جدول ٤- جدول تجزیه واریانس اثر نوع الکترود، نوع جریان الکتریکی و سطوح شوری بر هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با روش تماس مستقیم در خاک روستای امان آباد با میزان ١٦ درصد رس و بافت لومی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
بین تیمار ها	۱۱/۱۵۱	۱	۱۱/۱۵۱	۱۹۰۱۳۶۲/۴۸۵**
شوری خاک	۱/۱۱۸	۴	۰/۲۸	۴۷۶۷۲/۰۷۱**
الکترود	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۲۲۳/۵**
فرکانس	۵/۴۱۹E-۶	۱	۵/۴۱۹E-۶	۰/۹۲۴ns
شوری – الکترود	۰/۰۰۵	۴	۰/۰۰۱	۲۱۰/۶۹۱**
شوری – فرکانس	۰/۰۰۰۳	۴	۹E-۵	۱۵/۳۵۶**
الکترود – فرکانس	۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۰۰۱	۱۷/۰۷۴**
شوری-الکترود-فرکانس	۰/۰۰۰۲	۴	۵/۲۸E-۵	۹/۰۰۳**
خطا	۰/۰۰۰۲	۴۰	۵/۸۶۵E-۶	
کل	۱۲/۲۷۶	۵۹		

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ ns اثر معنی دار وجود ندارد.

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس اثر نوع الکترود، نوع جریان الکتریکی و سطوح شوری بر هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با روش تماس مستقیم در خاک روستای تنگلشور با میزان ۲۰ درصد رس و بافت لومی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
بین تیمار ها	۰/۱۹۴	۱	۰/۱۹۴	۶۴۷۸۶۲۲/۰۷۱**
شوری خاک	۰/۰۶۵	۴	۰/۰۱۶	۵۴۰۷۶۳/۰۳۷**
الکترود	۵/۸۶۳E-۶	۱	۵/۸۶۳E-۶	۱۹۵/۵۷۸**
فرکانس	۵/۶۴۴E-۶	۱	۵/۶۴۴E-۶	۱۸۸/۲۶۵**
شوری – الکترود	۸/۸۸۲E-۶	۴	۲/۲۲۱E-۶	۷۴/۰۷۲**
شوری – فرکانس	۲/۳۵۷E-۶	۴	۵/۸۹۲E-۷	۱۹/۶۵۶**
الکترود – فرکانس	۱/۶۹۴E-۷	۱	۱/۶۹۴E-۷	۵/۶۵ns
شوری-الکترود-فرکانس	۷/۴۷E-۶	۴	۱/۸۶۷E-۶	۶۲/۲۹۴**
خطا	۱/۱۹۹E-۶	۴۰	۲/۹۹۸E-۸	
کل	۰/۲۵۹	۵۹		

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ . ns اثر معنی دار وجود ندارد.

جدول ٦- جدول تجزیه واریانس اثر نوع الکترود، نوع جریان الکتریکی و سطوح شوری بر هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با روش تماس مستقیم در خاک مزرعه طرق دانشکده کشاورزی با میزان ٢٦ درصد رس و بافت لومی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
بین تیمار ها	۰/۰۷۴	۱	۰/۰۷۴	۱۴۳۷۲۰۷/۸**
شوری خاک	۰/۰۱۶	۴	۰/۰۰۴	۷۹۶۱۱/۱۸**
الکترود	۴/۸۷ E-۵	۱	۴/۸۷ E-۵	۹۴۳/۳۹**
فرکانس	۹/۶۴E-۶	۱	۹/۶۴E-۶	۱۸۶/۸۴**
شوری – الکترود	۵/۸۴E-۵	۴	۱/۴۶E-۵	۲۸۲/۸۹**
شوری – فرکانس	۴/۶۶E-۶	۴	۱/۱۶E-۶	۲۲/۵۸**
الکترود – فرکانس	۱/۱۲E-۷	۱	۱/۱۲E-۷	۲/۱۶ns
شوری-الکترود-فرکانس	۱/۷۳E-۶	۴	۴/۳۲E-۷	۸/۳۷**
خطا	۲/۰۶E-۶	۴۰	۵/۱۶E-۸	
کل	۰/۱۷	۵۹		

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ . ns اثر معنی دار وجود ندارد.

جدول ۷- جدول تجزیه واریانس اثر نوع الکترود، نوع جریان الکتریکی و سطوح شوری بر هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با روش تماس مستقیم در خاک پردیس دانشکده کشاورزی با میزان ۲۸ درصد رس و بافت لومی- رسی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
بین تیمار ها	۴/۴۳۱	۱	۴/۴۳	۹۵۵۵۵۱/۱۴**
شوری خاک	۰/۱۴۹	۴	۰/۰۳۷	۸۳۲۸۳/۱۷**
الکترود	۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۰۰۱	۳۰۶/۷۷۹**
فرکانس	۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۰۰۱	۴۶۳/۵۶۲**
شوری – الکترود	۰/۰۰۱	۴	۰/۰۰۰۲	۳۲۲/۹۶۳**
شوری – فرکانس	۰/۰۰۰۳	۴	۷/۳۱۲E-۵	۱۶۲/۹۸۹**
الکترود – فرکانسns	۹/۵۲۳E-۷	۱	۹/۵۲۳E-۷	۲/۱۲۳ns
شوری-الکترود-فرکانس	۰/۰۰۰۱	۴	۲/۸۰۹E-۵	۶۲/۶۲۸**
خطا	۱/۷۹۴E-۵	۴۰	۴/۴۸۶E-۷	
کل	۰/۵۷۹	۵۹		

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ . ns اثر معنی دار وجود ندارد.

به منظور بررسی بیشتر نمودار های تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با روش تماس مستقیم (ونر) و هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با روش عصاره یک به یک در سطوح مختلف شوری، الکترود و جریان در شکلهای ۴ تا ۷ رسم شده است. به دلیل اینکه رطوبت خاک در اندازه گیری هدایت الکتریکی در سطح شوری چهارم خاک مزرعه طرق خارج از محدوده مورد نظر قرار داشت، این نقطه از جریان تحلیل نتایج کنار گذاشته شد. زیرا از عوامل موثر و مهم در اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری میزان رطوبت خاک می باشد. در صورتیکه رطوبت تغییر کند نتایج قابل مقایسه نخواهند بود.

شکلهای۴ تا ۷ بیانگر یکنواختی و همسویی تغییرات EC آزمایشگاهی نسبت به EC ظاهری خاک در بین تیمار های مختلف در خاک های مختلف می باشند. در جدول ۷مقادیر ضریب همبستگی (R^2) و رابطه رگرسیون خطی در بین تیمار ها آمده است. مقادیر R^2 در بین تمام تیمار ها در محدوده ۰/۹۴ تا ۰/۹۹ قرار دارد که نشانگر تغییرات بسیار خطی هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش تماس مستقیم (ونر) نسبت به تغییرات هدایت الکتریکی آزمایشگاهی (شوری خاک) است.

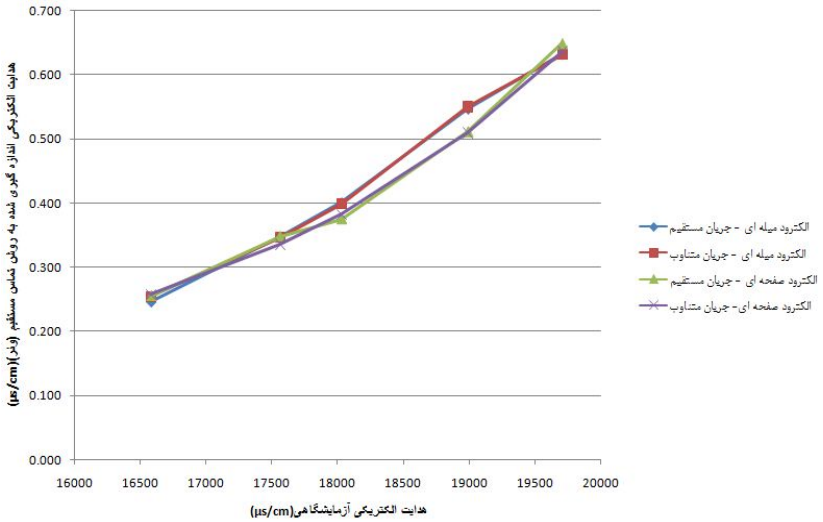
نتیجه گیری

نتایج تجزیه واریانس، نمودارها و ضرایب همبستگی، همگی بیانگر تغییرات خطی و همسوی نتایج اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری توسط روش تماس مستقیم نسبت به تغییرات هدایت الکتریکی آزمایشگاهی خاک می باشند. در نتیجه روش تماس مستقیم الکترود ها با خاک (ونر) را می توان به منظور اندازه گیری سریع و در محل هدایت الکتریکی و پیش بینی میزان هدایت الکتریکی

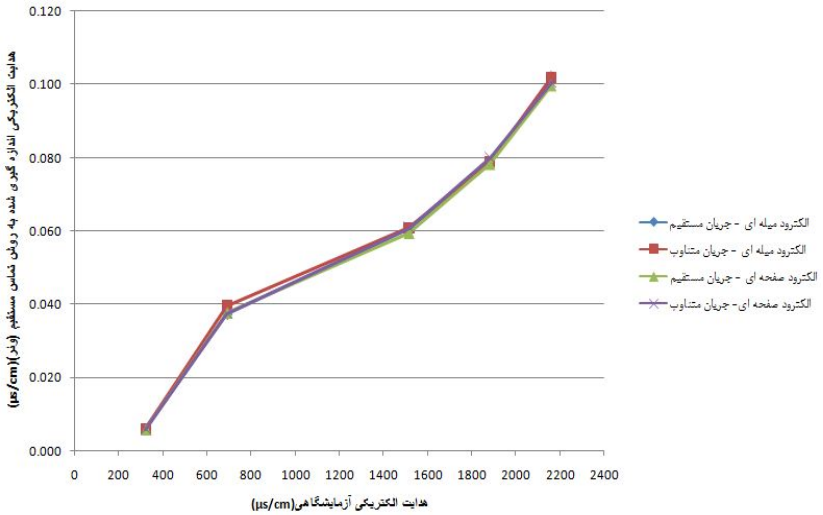
آزمایشگاهی و همچنین تعیین نقشه شوری خاک در کاربرد های کشاورزی دقیق، کارا و توانمند توصیف کرد. از جمله عوامل مهم دخیل در نتایج اندازه گیری هدایت الکتریکی به صورت در جا، می توان به رطوبت خاک، میزان رس، و فشردگی خاک اشاره کرد.

هرچند اختلاف بین نوع الکترود ها در تجزیه و تحلیل آماری معنی دار بود اما هر دو آنها رفتار خطی با نتایج هدایت الکتریکی آزمایشگاهی نشان دادند. در نتیجه هر کدام را به تنهایی می توان نسبت به EC خاک کالیبره نموده و در طراحی دستگاه های اندازه گیری در جای هدایت الکتریکی ظاهری استفاده کرد. انتخاب نوع الکترود با توجه به کاربرد آن میسر می شود. با توجه به نتایج تحقیق حاضر که مقدمه ای بر طراحی دستگاهی تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه می باشد، الکترود صفحه ای به علت تماس بیشتر و دائم با خاک، مقاومت کششی کمتر و استحکام در برخورد با موانع درون خاک جهت اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک در حین حرکت برتری دارد.

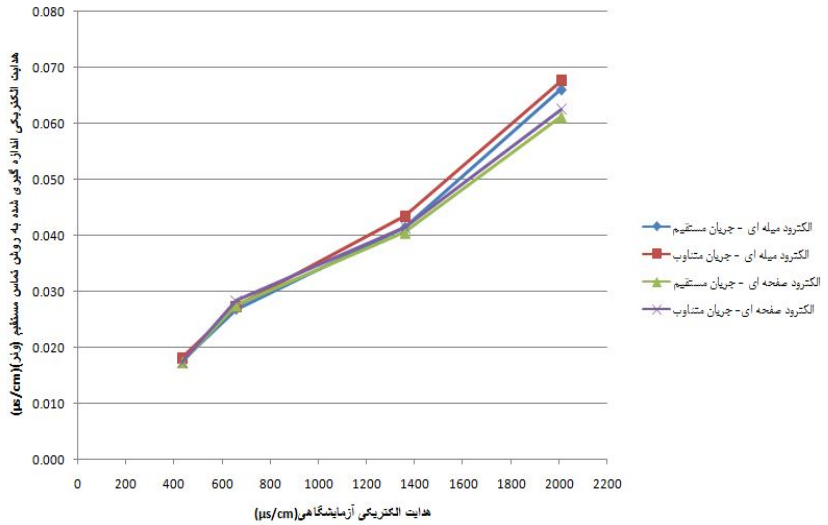
هچنین اختلاف بین جریان الکتریکی مستقیم و جریان الکتریکی متناوب نیز در تجزیه آماری معنی دار بود. اما از طرفی هر دو تیمار رفتار خطی نسبت به تغییرات شوری خاک نشان دادند. در نتیجه انتخاب جریان الکتریکی نیز به خواص دیگر آنها منوط می گردد.



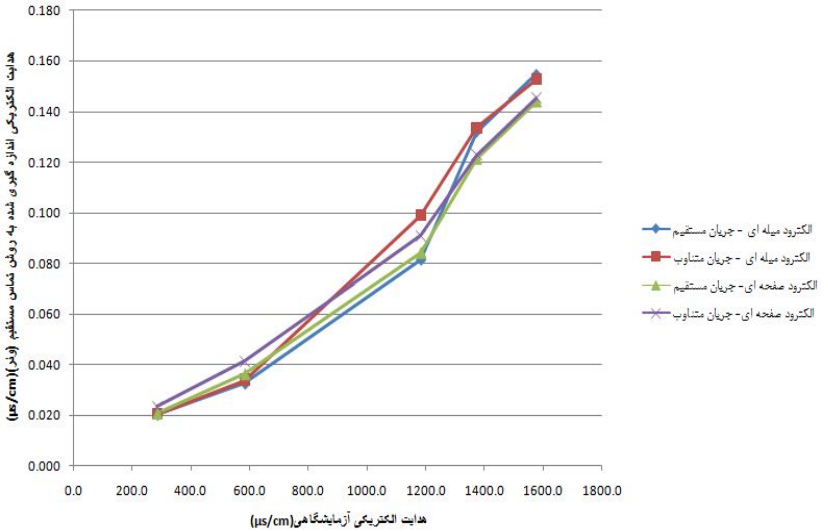
شکل٤- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش تماس مستقیم نسبت به تغییرات EC خاک بین تیمار های مختلف در خاک روستای امان آباد با ١٦ درصد رس و بافت لومی



شکل٥- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش تماس مستقیم نسبت به تغییرات EC خاک بین تیمار های مختلف در خاک روستای تنگلشور با ۲۰ درصد رس و بافت لومی



شکل ٦- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش تماس مستقیم نسبت به تغییرات EC خاک بین تیمار های مختلف در خاک مزرعه طرق با ٢٦ درصد رس و بافت لومی



شکل ۷- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش تماس مستقیم نسبت به تغییرات EC خاک بین تیمار های مختلف در خاک پردیس دانشگاه فردوسی با ۲۸ درصد رس و بافت لومی- رسی

از جمله عوامل دخیل در انتخاب جریان الکتریکی مورد استفاده در طراحی دستگاه های اندازه هدایت الکتریکی ظاهری خاک می توان به در دسترس پذیری، ایمنی کاربر، اثر جریان بر یونیزاسیون خاک و وجود حداقل نویز و اغتشاش در نتایج اشاره کرد. جریان مستقیم در دستگاه های اندازه گیری ساکن در طی زمان آزمایش موجب همسو شدن یونهای نمک موجود در خاک می شود، در نتیجه اعداد قرائت شده در طول زمان مقدار ثابتی را نشان نمی دهند. و نیز با توجه به جدول ۸، تیمار الکترود صفحه ای-جریان متناوب در تمامی خاک ها ضریب همبستگی بالاتری با هدایت الکتریکی آزمایشگاهی نسبت به تیمار الکترود صفحه ای- جریان مستقیم نشان می دهد. این مطلب بیانگر ارجحیت جریان متناوب در اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک به روش تماس مستقیم است.

بدین دلیل توصیه می شود از جریان متناوب با فرکانس ۵۰ یا ۴۰۰ هرتز استفاده شود. اولتینو[1] و همکارانش (۱۳) نشان دادند که فرکانس ۵۰ هرتز و ۴۰۰ هرتز کمترین نویز و بالاترین مقدار هدایت الکتریکی اندازه گیری شده را نشان می دهند.

1- Olteanu

جدول ۸- ضرایب همبستگی و روابط رگرسیون خطی تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش ونر نسبت به تغییرات هدایت الکتریکی آزمایشگاهی خاک، بین تیمار های مختلف

محل نمونه گیری خاک	درصد رس ٪	هدایت الکتریکی اولیه (µs/cm)	محدوده تغییرات رطوبت ٪	تیمار	ضریب همبستگی R^2	رابطه رگرسیون خطی نسبت به EC آزمایشگاهی*
روستای امان آباد	۱۶	۱۶۵۸۰	۹/۸ تا ۱۲/۱	الکترود میله ای- جریان مستقیم	۰/۹۹	y= ۱/۲۷E- ۴x – ۱/۸۷
				الکترود میله ای-جریان متناوب	۰/۹۸	y = ۱/۲۵E- ۴x – ۱/۸۳
				الکترود صفحه ای-جریان مستقیم	۰/۹۶	y = ۱/۲۴E- ۴x – ۱/۸۳
				الکترود صفحه ای- جریان متناوب	۰/۹۷	y = ۱/۲۱E- ۴x – ۱/۷۷
روستای تنگلشور	۲۰	۳۲۱	۸/۶ تا ۱۰/۱	الکترود میله ای- جریان مستقیم	۰/۹۶	y = ۵E- ۵x – ۰/۰۰۴
				الکترود میله ای-جریان متناوب	۰/۹۵	y = ۵E- ۵x – ۰/۰۰۲
				الکترود صفحه ای-جریان مستقیم	۰/۹۶	y = ۵E- ۵x – ۰/۰۰۳
				الکترود صفحه ای- جریان متناوب	۰/۹۷	y = ۵E- ۵x – ۰/۰۰۳
مزرعه طرق دانشگاه فردوسی	۲۶	۴۳۴	۸/۴ تا ۱۰/۱	الکترود میله ای- جریان مستقیم	۰/۹۸	y = ۳E- ۵x + ۰/۰۰۵
				الکترود میله ای-جریان متناوب	۰/۹۸	y = ۳E- ۵x + ۰/۰۰۵
				الکترود صفحه ای-جریان مستقیم	۰/۹۸	y = ۳E- ۵x + ۰/۰۰۷
				الکترود صفحه ای- جریان متناوب	۰/۹۸	y = ۳E- ۵x + ۰/۰۰۷
پردیس دانشگاه فردوسی	۲۸	۲۸۵	۸/۸ تا ۹/۶	الکترود میله ای- جریان مستقیم	۰/۹۴	y = ۱/۰۵E- ۴x – ۰/۰۲۱۵
				الکترود میله ای-جریان متناوب	۰/۹۷	y = ۱/۰۷E- ۴x -۰/۰۱۹
				الکترود صفحه ای-جریان مستقیم	۰/۹۶	y = ۱E- ۴x – ۰/۰۱۴
				الکترود صفحه ای- جریان متناوب	۰/۹۸	y = ۹E- ۵x – ۰/۰۰۹

* y: هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش تماس مستقیم، x: هدایت الکتریکی آزمایشگاهی خاک اندازه گیری شده به روش عصاره گیری یک به یک.

منابع

1- Rhoades J.D., and Loveday J. 1990. Salinity in irrigated agriculture. p. 1089–1142. In B.A. Stewart and D.R. Nielsen (ed.) Irrigation of agricultural crops. Agron. Monogr. 30. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
2- Corwin D. L., and Lesch S. M. 2003. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. Agronomy Journal Vol. 98. No. 3. May–June 2003.
3- Rhoades, J.D., D.L. Corwin, and S.M. Lesch. 1999. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. p. 197–215. In D.L.
4- Sudduth K.A., Drummond S.T., and Kitchen N.R. 2000. Measuring and interpreting soil electriclal conductivity for precision agriculture, Second International Geospatial Information in Agriculture and Forestry Conference, Lake Buena Vista, Florida, 10-12 January 2000.
5- Hendrickx J.M.H., Baerends B., Raza Z.I., Sadig M., and Akram Chaudhry M. 1992. Soil salinity assessment by electromagnetic induction of irrigated land. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1933–1941.
6- Corwin D. L., and Lesch S. M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture, Computers and Electronics in Agriculture 46 (2005) 11–43.
7- Corwin K. Loague, and T.R. Ellsworth (ed.) Assessment of non-point source pollution in the vadose zone. Geophysical Monogr. 108. AGU, Washington, DC.
8- Sarec O., Sarec P., Prosek V. 2002 .Measuring of soil electrical conductivity for mapping of spacial variability of soil properties within a field. RES. AGR. ENG., 48, (4): 131–136.
9- Rhoades, J.D., Manteghi N.A., Shouse P.J., and Alves W.J. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:433–439.
10- Ergon energy, Distribution System Earthing Guidelines, p8-13, Available at: http://www.ergon.com.au/__data/assets/pdf_file/0018/6615/Distribution-System-Earthing-Guidelines.pdf , Accessed 12 November 2009,.
11- Lund E. D., Christy C. D., and Drummond P. E. 1999. Practical applications of soil electrical conductivity mapping, 2nd European Conference on Precision Agriculture July 1999.
12- Veris Technologies,2008, 3100 soil EC mapping system product bulletin, Available at: http://www.veristech.com/manuals/3100_Parts_Manual.pdf, Accessed 20 November 2009.
13- Olteanu C., Turcu C., Olteanu F., Zamfira S., Oltean G., and Braun B. 2008. Mechatronic system for measuring and tracing of maps concerning soil agro-productive parameters, 6th International DAAAM Baltic Conference INDUSTRIAL ENGINEERING 24-26 April 2008, Tallinn, Estonia.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 5, Nov-Des 2010, p. 955-965

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۸۹، ص. ۹۶۵-۹۵۵

Estimation of Apparent Soil Electrical Conductivity Using Direct Contact Method

J. Baradaran Motie[1]*- M.H. Aghkhani[2]- M.H. Abbaspour-Fard[3]- A. Lakzian[4]

Received: 16-2-2010
Accepted: 28-8-2010

Abstract

Wenner direct contact method is a method of estimating apparent electrical conductivity (ECa) of agricultural soils in situ. This method can be affected by factors such as quality of electrodes in contact with soil, type of employed electric current, moisture content, clay content and compaction of soil. In this research, the effect of electrode type (rod and plate) and electric current type (direct and alternating) on accuracy of estimating soil ECa has been investigated to design a soil EC mapper. A prototype soil EC meter based on direct contact method has been made. The device assessed by a completely randomized experimental design with factorial layout. The independent variables were soil salinity (five levels), electrodes type (two levels) and current type (two levels). Four soil types with different clay contents from regions around Mashhad city (Khorasan Razavi, Iran) have been used with three replications. The results analyzed with SPSS17 software and validated with 1:1 soils water extract EC's. Significant difference between electrodes types and electric current types was observed. The correlation coefficients of direct contact measured EC's with soil water extract EC's was between 0.94 and 0.99 for all treatments. Based on the results of this research, plate type electrodes and AC current were recommended for the design of tractor rear mounted soil EC mapper.

Keywords: Electrical conductivity, Wenner method, Plate type electrode, Rod type electrode

1,2,3- Msc Student, Associate Prof., and Associate Prof., Dept. of Farm Machinery Eng., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively
(*- Corresponding Author Email: Jalal_jbm@yahoo.com)
4- Assosiate Prof., Dept. of Soil Science., Faculty of Agriculture, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad