تعیین در جای شوری خاک به وسیله حسگر اندازه گیری هدایت الکتریکی به عنوان مولفه ای از کشاورزی دقیق

جلال برادران مطیع[۱]، محمد حسین آق خانی[۲]، محمد حسین عباسپور فرد[۲]، امیر لکزیان[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]عضو هیات علمی گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، [۳]عضو هیات علمی گروه خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد.

Jalal_jbm@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق کارایی روش تماس مستقیم را در خاکهای کشاورزی و محدوده رشد ریشه گیاه جهت اندازه گیری هدایت الکتریکی، بررسی شده است. همچنین پس از بررسی تاثیر شکل الکترودها و نوع جریان الکتریکی و اثر آنها در دقت اندازه گیری هدایت الکتریکی، بهترین الکترود و جریان الکتریکی انتخاب شد. بدین منظور سیستمی جهت اندازه گیری هدایت الکتریکی بر پایه روش تماس مستقیم ، ساخته شد، به کمک این دستگاه هدایت الکتریکی خاک را می توان بدون نمونه گیری و انتقال به آزمایشگاه بدست آورد. دستگاه طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با سه متغیر اصلی میزان شوری خاک، نوع الکترود و جریان الکتریکی 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 ۰/۹٤ 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.

واژگان کلیدی: هدایت الکتریکی، روش تماس مستقیم، کشاورزی دقیق، نقشه هدایت الکتریکی.

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(Rhoades & Loveday, 1990). 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 نمکها، بر اساس درجه شوری و ترکیب یونهای قابل تبادل، بر قابلیت نفوذ آب و حاصلخیزی خاک موثر می باشند. 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(Rhoades et al., 1999).

عملاً، هدایت الکتریکی را در عصاره اشباع خاک تعیین می کنند. اندازه گیری سریع و آسان شوری خاک در محدوده رطوبت مزرعه بسیار مطلوب است اما با روشهای علمی و عملی موجود نمی توان به این هدف دست یافت. تعیین هدایت الکتریکی (EC) خاک نیازمند تهیه نمونه های خاک از 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 هزینه های تهیه عصاره خاک، از دو دهه پیش تلاشها به سمت تعیین هدایت الکتریکی درجا (EC) از توده خاک متمایل شده است، و آن را هدایت الکتریکی ظاهری[1] یا هدایت الکتریکی توده[2] (EC_a) نامیدند. در اندازه گیری EC_a ، فقط هدایت الکتریکی محلول خاک دخیل نیست بلکه هدایت الکتریکی که میان ذرات جامد و یونهای قابل تبادل که در بخش نیمه جامد مواد رسی و معدنی خاک وجود دارد، را نیز شامل می شود(Corwin & Lesch, 2003). هدایت الکتریکی در خاک هایی که به اندازه کافی رطوبت دارند ابتدا متاثر از نمکهای 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 (Rhoades et al., 1999). روش های مختلفی به منظور اندازه گیری سریع و کم هزینه هدایت الکتریکی خاک توسعه داده است که هر کدام مزایا و معایبی دارند. 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 به کمک تعیین مقاومت الکتریکی به روش ونر ٤- اندازه گیری غیر مخرب هدایت

[1] Apparent Soil Electrical conductivity
[2] Bulk Soil Electrical conductivity

الکتریکی به روش القای مغناطیسی ۵- اندازه گیری در محل هدایت الکتریکی بوسیله TDR[1] (بازتاب سنجی زمانی امواج).

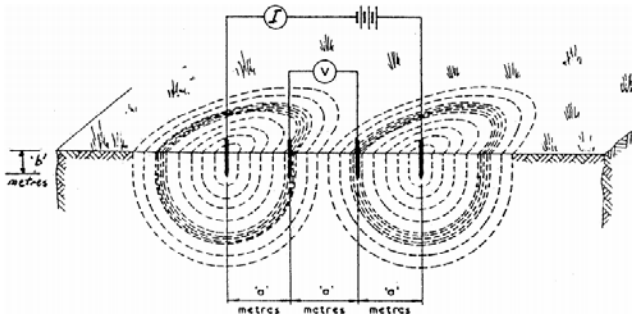
یکی از این روشها، اندازه گیری مقاومت الکتریکی خاک به روش تماس مستقیم ونر[2] می باشد. روش ونر جهت اندازه گیری مقاومت الکتریکی ویژه خاک به منظور محاسبه اثرات خوردگی وحفاظت کاتدی لوله های نفت و گاز در اعماق خاک توسعه داده شده است. در این مقاله قابلیت کاربرد روش ونر در اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک در محدوده رشد ریشه گیاه بررسی شد.

اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک به روشهای مقاومت الکتریکی(روش ونر) و القای مغناطیسی هر دو برای فعالیت های کشاورزی دقیق بسیار مناسب می باشند. زیرا حجم نمونه اندازه گیری توسط آنها زیاد است که موجب کاهش اثر رسیدن به مقیاس واقعی در اندازه گیری می شود. از میان روشهای 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(Rhoades et al., 1999 & Sudduth et al., 2000). هر دو این روشها پارامتر هدایت الکتریکی ظاهری خاک(EC_a) را اندازه گیری می کنند. در اندازه گیری به روش مقاومت الکتریکی، لازم است تماس کافی بین خاک و الکترود های نفوذ کننده برقرار باشد، از اینرو این روش سطح خاک را تخریب کرده و در خاکهای خشک و سنگ دار از قابلیت اطیمنان کمتری نسبت به روش القای مغناطیسی برخوردار است(Hendrickx et al., 1992).

روش مقاومت الکتریکی (روش ونر) به دلیل انعطاف پذیری که دارد برای کاربرد های مزرعه ای دارای مزیت است. حجم و عمق اندازه گیری به راحتی با تغییر فاصله بین الکترودها قابل تنظیم است(Corwin & Lesch, 2005). 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(Sarec et al., 2002). در مواد همگن، مقاومت الکتریکی معکوس هدایت الکتریکی می باشد. دستگاههای 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. 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 گسترش داده است(Ergon energy, 2008).

[1] Time Domain Reflectometry
[2] Wenner direct contact method



شکل۱- 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.

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

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(Ergon energy, 2008).

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

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(Lund et al., 1999). 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 تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه استفاده شد.

مواد و روشها

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 شوریهای متفاوت در محیط آزمایشگاه تعریف شد. در کل چهار نمونه خاک با میزان رس ۱۶ ، ۲۸، ۲۰ و ۲۶ درصد به ترتیب از روستای امان آباد، مزرعه پردیس دانشگاه فردوسی، روستای تنگلشور و مزرعه تحقیقاتی طرق تهیه شد. 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 نمونه های خاک از روش هیدرومتری با چهار قرائت استفاده شد. قرائت ها در فواصل ۳۰ ثانیه، ٦۰ ثانیه، ۱/۵ ساعت و ۲٤ ساعت صورت گرفت.

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

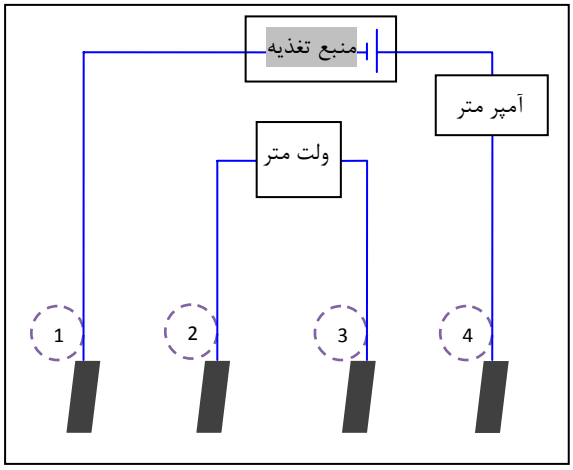
نام محل نمونه گیری	رس٪	سیلت٪	شن٪	EC 1:1 (µS/cm)	بافت خاک
پردیس دانشگاه	۲۸	٤۸	۲٤	۲۸۵	لومی رسی
مزرعه طرق	۲٦	٤۸	۲٦	٤۳٤	لومی
روستای امان آباد	۱٦	٤۲	٤۲	۱٦۵۸۰	لومی
روستای تنگلشور	۲۰	٤۰	٤۰	۳۲۱	لومی

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 ۳ و ٤ در فواصل بین الکترودی کوچک (۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر) و تعیین اثر نوع الکترود و نوع جریان الکتریکی یک سری آزمایش بر 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،٤، ٦ 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 داخلی ۵۷ × ۳۷× ۳۰ سانتیمتر و حجم ۰/۰٦۳۲۷ 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، ٤، ٦ و ۸ لیتر آب شور به جعبه های خاک آماده شدند.

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 ٤ (بیرونی) به منبع تغذیه ٦۰ ولت و آمپر متر دیجیتال سری می شدند. و الکترودهای ۲ و۳ (میانی) به ولت متر دیجتال موازی شدند. با برقراری جریان الکتریکی مقادیر اندازه گیری شده توسط ولت متر و آمپر متر در جداول تهیه شده، یادداشت شد. این آزمایش در سه تکرار انجام می شد. 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 نمکهای 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 ۲آمده است.

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

EC(ms/cm)	۹/۹۹	**PH**	٦/۸
HCO_3^-(meq/lit)	۲٦/٦	**K^+(mg/lit)**	۱۲۸/۱٤٦
Na^+(g/lit)	۲/۳۷	**CO_3^{-2}(meq/lit)**	۰
Mg^{+2}(meq/lit)	٦/۱	**Cl^-(meq/lit)**	۱۰۹/٦
		Ca^{+2}(meq/lit)	٥/٤

[1] Laboratory EC

[2] کنداکتومتر جن – وی(Jenway) مدل ۴۳۱۰

منبع تغذیه

در این تحقیق از ولتاژ ٦٠ ولت با نوع جریان الکتریکی مستقیم و متناوب استفاده شد. جریان متناوب از یک ترانس کاهنده تبدیل ٢٢٠ به ٦٠ با فرکانس ٥٠ هرتز و جریان مستقیم با ولتاژ ٦٠ ولت از یک منبع تغذیه آزمایشگاهی دوبل با قابلیت تنظیم ولتاژ از ٠ تا ٦٠ ولت و جریان از ٠ تا ٣ 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. از هر نوع الکترود ٤ عدد از جنس فولاد ساختمانی ساخته شد. الکترود صفحه ای با ابعاد ١٠٠×٥٠میلیمتر و الکترود میله ای به قطر ١٥ میلیمتر می باشد. 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 ٧ سانتیمتر و فاصله بین آنها ١٠ سانتیمتر ثابت در نظر گرفته شد. عمق ٧ سانتیمتر با توجه به ابعاد جعبه های خاک انتخاب شد.

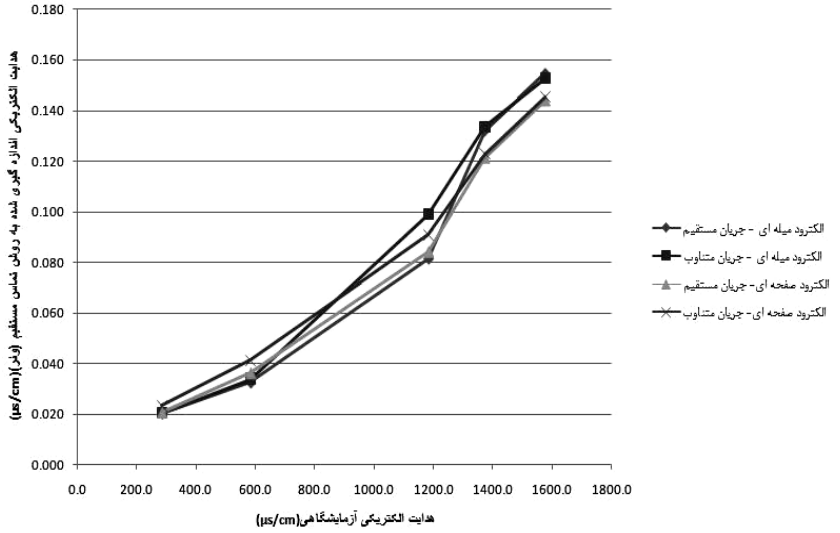
شکل٣- راست: چیدمان قرار گیری الکترود ها درون جعبه خاک، چپ: الکترود صفحه ای و الکترود میله ای.

نتایج و بحث

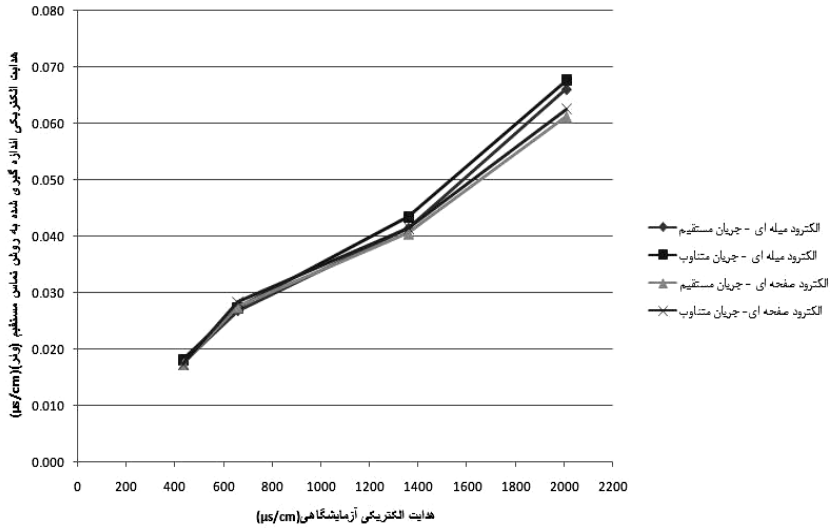
تجزیه واریانس تیمار ها و آزمون F بین سطوح فاکتور ها در خاک مناطق مختلف توسط نرم افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین ها نشان می دهد، اثر نوع الکترود و نوع جریان الکتریکی مورد استفاده در اندازه گیری پارامتر هدایت الکتریکی ظاهری خاک معنی دار است.

نتایج تجزیه واریانس به طور مشابه اختلاف معنی داری بین تمام سطوح تیمار ها نشان می دهد. نتایج بیانگرآن است که بین 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 وجود دارد. 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 در تجزیه واریانس تیمار ها در خاک روستای امان آباد با میزان ۱۹ درصد رس 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 ١٦mS/cm) در اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری، تاثیر معنی داری ندارد.

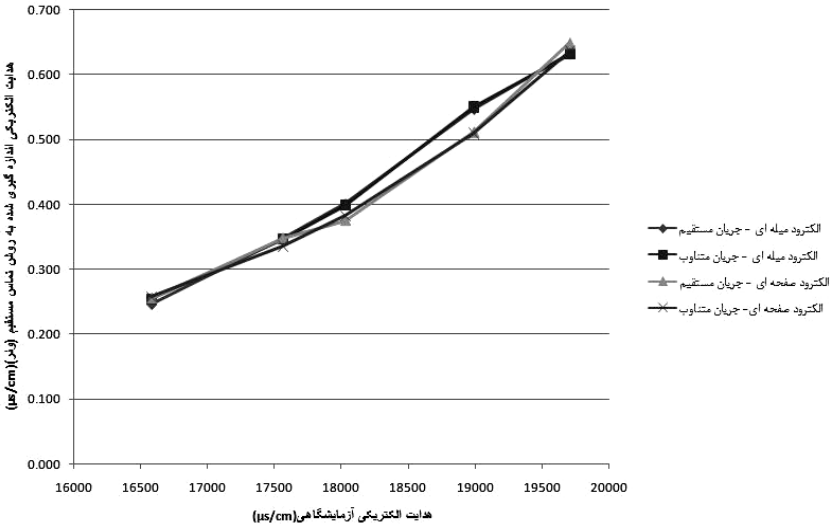
به منظور بررسی بیشتر نمودار های تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با روش تماس مستقیم (ونر) و هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با روش عصاره یک به یک در سطوح مختلف شوری، الکترود و جریان در شکلهای ٤ تا ۷ رسم شده است. به دلیل اینکه رطوبت خاک در اندازه گیری هدایت الکتریکی در سطح شوری چهارم خاک مزرعه طرق 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. شکلهای٤ تا ۷ بیانگر یکنواختی و همسویی تغییرات EC آزمایشگاهی (شوری) نسبت به EC ظاهری خاک در بین تیمار های مختلف در خاک های مختلف می باشند. در جدول ۳مقادیر ضریب همبستگی (R^2) و رابطه رگرسیون خطی در بین تیمار ها آمده است. مقادیر R^2 در بین تمام تیمار ها در محدوده ۰/۹٤ 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.



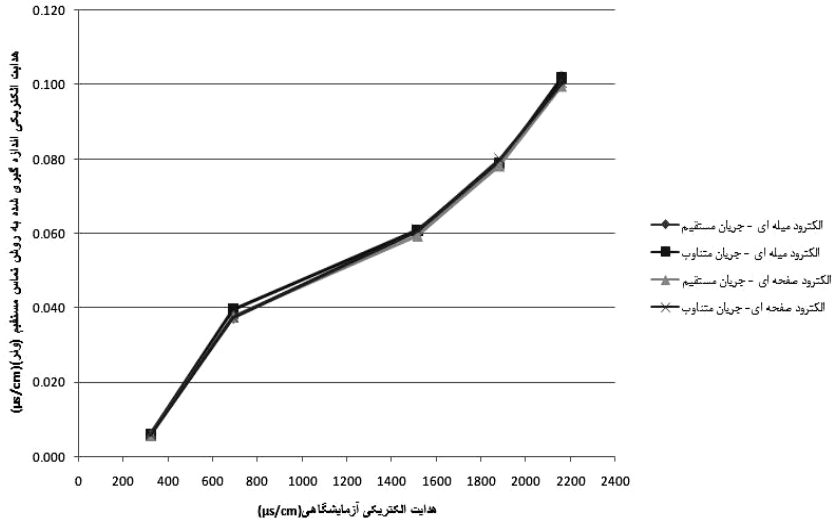
شکل ٤- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش تماس مستقیم نسبت به تغییرات EC خاک بین تیمار های مختلف در خاک پردیس دانشگاه فردوسی با ٢٦ درصد رس و بافت لومی.



شکل ٥- 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 ٢٨ درصد رس و بافت لومی- رسی.



شکل٦- 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- رسی.



شکل۷- 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- رسی.

جدول ۳- 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*
پردیس دانشگاه فردوسی	۲۸	۲۸۵	۸/۸ تا ۹/٦	الکترود میله ای- جریان مستقیم	۰/۹٤	y = ۱/۰۵E- ٤x – ۰/۰۲۱۵
				الکترود میله ای-جریان متناوب	۰/۹۷	y = ۱/۰۷E- ٤x -۰/۰۱۹
				الکترود صفحه ای-جریان مستقیم	۰/۹٦	y = ۱E- ٤x – ۰/۰۱٤
				الکترود صفحه ای- جریان متناوب	۰/۹۸	y = ۹E- ۵x – ۰/۰۰۹
مزرعه طرق دانشگاه فردوسی	۲٦	٤۳٤	۸/٤ 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
روستای امان آباد	۱٦	۱٦۵۸۰	۹/۸ تا ۱۲/۱	الکترود میله ای- جریان مستقیم	۰/۹۹	y = ۱/۲۷E- ٤x – ۱/۸۷
				الکترود میله ای-جریان متناوب	۰/۹۸	y = ۱/۲۵E- ٤x – ۱/۸۳
				الکترود صفحه ای-جریان مستقیم	۰/۹٦	y = ۱/۲٤E- ٤x – ۱/۸۳
				الکترود صفحه ای- جریان متناوب	۰/۹۷	y = ۱/۲۱E- ٤x – ۱/۷۷
روستای تنگلشور	۲۰	۳۲۱	۸/٦ تا ۱۰/۱	الکترود میله ای- جریان مستقیم	۰/۹٦	y = ۵E- ۵x – ۰/۰۰٤
				الکترود میله ای-جریان متناوب	۰/۹۵	y = ۵E- ۵x – ۰/۰۰۲
				الکترود صفحه ای-جریان مستقیم	۰/۹٦	y = ۵E- ۵x – ۰/۰۰۳
				الکترود صفحه ای- جریان متناوب	۰/۹۷	y = ۵E- ۵x – ۰/۰۰۳

* 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.

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 برآورد میزان هدایت الکتریکی آزمایشگاهی(شوری) 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 دستگاههای 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 دستگاه 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. از جمله عوامل دخیل در انتخاب جریان الکتریکی مورد استفاده در طراحی دستگاههای 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 دستگاههای 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 ۳، 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 ٤۰۰ هرتز استفاده شود. اولتینو[1] و همکارانش (Olteanu et al., 2008) نشان دادند که فرکانس ۵۰ هرتز و ٤۰۰ هرتز کمترین نویز و بالاترین مقدار هدایت الکتریکی اندازه گیری شده را نشان می دهند.

منابع

1. Rhoades, J.D., and J. Loveday. 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.

[1] Olteanu,2008

2. Corwin D. L., 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., 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., B. Baerends, Z.I. Raza, M. Sadig, and M. Akram Chaudhry. 1992. Soil salinity assessment by electromagnetic induction of irrigated land. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1933–1941.
6. Corwin D. L., 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, 2002 (4): 131–136.
9. Rhoades, J.D., N.A. Manteghi, P.J. Shouse, and W.J. Alves. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations andcalibrations. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:433–439.
10. ERGON ENERGY, Distribution System Earthing Guidelines.
11. Lund E. D., Christy C. D., Drummond P. E., 1999, Practical applications of soil electrical conductivity mapping, 2nd European Conference on Precision Agriculture July 1999.
12. 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.

Determining soil EC based on Wenner method with plate type probes as a component of precision farming

In this study, the efficacy of direct contact method of measuring soil electrical conductivity, in agricultural soils and plant root growth range assessed. Also, the effects of the electrodes type and electrical current in accuracy of measurement have been surveyed. the best electrode and electric current were selected. For this purpose, a prototype system for measuring soil electrical conductivity based on the direct contact method was built. Thanks to this device, electrical conductivity of soil can be obtained without sampling and transferring to laboratory. Completely randomized experimental design with a factorial arrangement with three main variable soil salinity, electrode type and electric current was evaluated. The tests were repeated in four different soils from around of Mashhad city with different salinity and clay contents. Results compared with 1:1 soil extracts EC, by SPSS 17 software then analysis shown a significant effect between electrode types and the electric current types. Correlation coefficient of changes in electrical conductivity measured by direct contact method and laboratory EC's of different experimental treatments and different soils are between 0.94 to 0.99. Based on the results of this study, the use of plate type electrodes and alternating current recommend in order designing a soil electrical conductivity mapper.

KEYWORDS: Electrical conductivity, Wenner direct contact method, precision farming, EC map.