

ساخت و ارزیابی سامانه تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه در حین حرکت

جلال برادران مطیع^{*۱} - محمدحسین آق‌خانی^۲ - محمدحسین عباسپور فرد^۳ - امیر لکزیان^۴

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۶

چکیده

موضوع شوری خاک یکی از معضلات افزایش بهره‌وری کشاورزی می‌باشد که بایستی با تدبیر و مدیریت صحیح علمی مهار گردد. یکی از راه‌های شناسایی مناطق شور، تهیه نقشه هدایت الکتریکی مزارع می‌باشد. در این تحقیق یک نمونه دستگاه اندازه‌گیری در حین حرکت هدایت الکتریکی ظاهری خاک طراحی، ساخته و سپس نقشه هدایت الکتریکی مزرعه ای توسط آن تهیه شد. این دستگاه از روش تماس مستقیم الکتروود با خاک بهره می‌برد. ورودی‌های دستگاه شامل ولتاژ تغذیه، سیگنال موقعیت جغرافیایی از GPS و سیگنال ولتاژ بین الکتروودها می‌باشد. خروجی دستگاه که به صورت فایل TEXT می‌باشد شامل مقدار هدایت الکتریکی نقاط و مختصات جغرافیایی بوده که از طریق درگاه RS-232 به رایانه انتقال می‌یابد. داده‌های هدایت الکتریکی با استفاده از بسته نرم افزاری ESAP کالیبره و به صورت نقشه رنگی تهیه شد. به منظور ارزیابی دستگاه، نقشه هدایت الکتریکی قطعه زمینی با مساحت ۰/۸ هکتار به دو روش داده برداری با دستگاه و داده برداری دستی تهیه و مقایسه شد. ارزیابی دستگاه در مزرعه ای تحقیقاتی با خاک کم شور و بافت لومی رسی، بیانگر همبستگی نتایج با $R^2=0/61$ و مقدار میانگین خطای $S.C.M^{-1} (ME) ۶۵/۲۷$ بود. بررسی نقطه به نقطه محل‌های نمونه برداری نشان داد در ۶۷ درصد نقاط خطای اندازه‌گیری زیر ۱۰ درصد می‌باشد. این میزان خطا در محیط خاک مزرعه که دارای متغیرهای بسیاری می‌باشد با توجه به نتایج ارائه شده در سایر مقالات قابل قبول می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هدایت الکتریکی، نقشه، مدل رگرسیونی، شوری خاک

مقدمه

توده (EC_a) نامیدند. در اندازه‌گیری 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 می‌شود (Corwin and Lesch, 2003). هدایت الکتریکی در خاک‌هایی که به اندازه کافی رطوبت دارند ابتدا متأثر از نمک‌های محلول موجود در آب درون حفره‌ها و منافذ می‌باشد، در نتیجه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توده خاک رابطه نزدیکی با شوری خاک دارد (Rhoades et al., 1999). روش‌های مختلفی به منظور اندازه‌گیری سریع و کم هزینه هدایت الکتریکی خاک توسعه داده شده است که هر کدام مزایا و معایبی دارند.

یکی از روش‌های اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک روش تماس مستقیم ونر^۷ می‌باشد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک به روش تماس مستقیم، برای فعالیت‌های کشاورزی دقیق بسیار مناسب می‌باشد. زیرا حجم زیاد خاک اندازه‌گیری شده موجب کاهش اثر

عملاً، هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع تعیین می‌شود. اندازه‌گیری سریع و آسان شوری خاک در محدوده رطوبت مزرعه بسیار مطلوب است اما با روش‌های علمی و عملی موجود نمی‌توان به این هدف دست یافت. تعیین هدایت الکتریکی (EC) خاک نیازمند تهیه نمونه‌های خاک از مزرعه، انتقال به آزمایشگاه، طی فرآیند تهیه عصاره و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع می‌باشد. این مراحل بسیار وقت گیر و پرهزینه می‌باشند. به دلیل زمان بر بودن عملیات آزمایشگاهی و هزینه‌های تهیه عصاره خاک، از دو دهه پیش تلاش‌ها به سمت تعیین هدایت الکتریکی درجا از توده خاک متمایل شده است، و آن را هدایت الکتریکی ظاهری^۵ یا هدایت الکتریکی

۱، ۲ و ۳ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران، گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* نویسنده مسئول : (Email: jalal_jbm@yahoo.com)

۴ دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

6- Bulk Soil Electrical conductivity
7- Wenner direct contact method

5 - Apparent Soil Electrical conductivity

الکتریکی ویژه را با تقریب خوبی می‌توان از رابطه ۲ بدست آورد (Ergon energy, 2008).

$$\rho = 2\pi Ra \quad (-m) \quad (2)$$

این روابط با فرض این که مقاومت الکتریکی در تمام حجم خاک یکنواخت است بنا شده اند، در حالیکه محیط خاک این گونه نیست. لذا مقاومت الکتریکی ویژه بدست آمده با مقادیر مختلف a ، با هم متفاوت می‌باشند. مقاومت الکتریکی ویژه بدست آمده را مقاومت ویژه ظاهری خاک می‌نامند.

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 می‌گیرند. در نتیجه هدایت الکتریکی ظاهری خاک به طور میانگین تا عمق a از رابطه ۳ بدست می‌آید.

$$EC_a = \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

هدف از این تحقیق بررسی عملکرد و کارایی روش ونر است که با طراحی و ساخت سامانه ای در داخل کشور محقق گردیده است. در این مقاله با استفاده از این دستگاه، تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاکهای کشاورزی به صورت در حرکت، میسر و عوامل و مقادیر خطای دستگاه تعیین می‌گردد.

مواد و روش‌ها

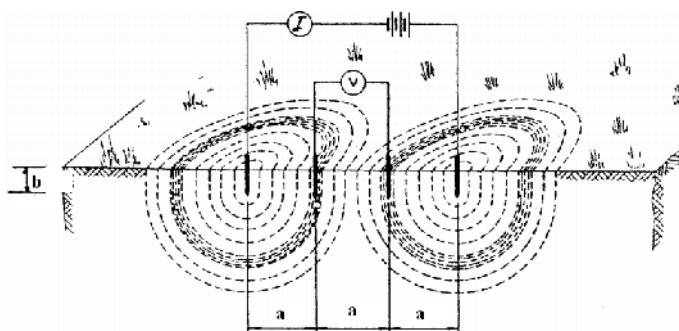
سامانه تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه از دو بخش مکانیکی و الکتریکی تشکیل شده است. بخش مکانیکی شامل شاسی، اتصال سه نقطه و الکترودها می‌باشد. بخش الکترونیکی دستگاه شامل واحد کنترل و پردازش و کابل‌های رابط می‌شود.

رسیدن به مقیاس واقعی در اندازه گیری می‌شود. در روش نمونه برداری از خاک، حجم نمونه در مقایسه با حجم خاک محدوده رشد ریشه گیاه بسیار کوچک است و موجب عدم تعیین دقیق شرایط محیط رشد گیاه می‌شود. در اندازه گیری به روش تماس مستقیم، لازم است تماس کافی بین خاک و الکترودهای نفوذ کننده برقرار باشد، از این رو این روش سطح خاک را تخریب کرده و در خاک‌های خشک و سنگ دار از قابلیت اطمینان کمتری نسبت به سایر روش‌ها از جمله روش القای مغناطیسی برخوردار است (Hendrickx et al., 1992). از طرفی بر خلاف روش القای مغناطیسی، روش مقاومت الکتریکی، عمق نفوذ و حجم خاک تحت آزمون از روابط ساده ریاضی قابل محاسبه است (Sarec et al., 2002). روش مقاومت الکتریکی (روش ونر) به دلیل انعطاف پذیری که دارد برای کاربردهای مزرعه ای دارای مزیت است. به طوری که عمق اندازه گیری به راحتی با تغییر فاصله بین الکترودها قابل تنظیم است (Corwin et al., 2005 ; Corwin et al., 1999).

در روش ونر مطابق شکل ۱ چهار الکترود به فواصل مساوی a از یکدیگر بروی خط مستقیم به عمق b در خاک قرار داده می‌شوند. جریان الکتریکی I به دو الکترود بیرونی وارد می‌شود، سپس ولتاژ (V) بین جفت الکترود میانی اندازه گیری می‌گردد. نسبت V/I مقدار مقاومت الکتریکی متقابل را بر حسب اهم بدست می‌دهد. 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).

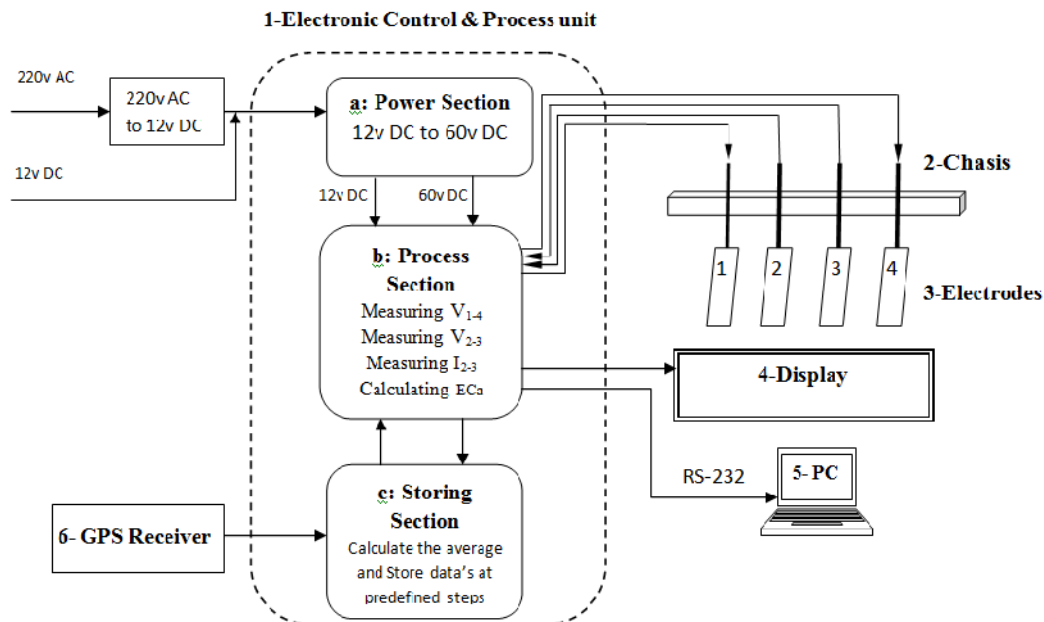
$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} \quad (1)$$

رابطه ۱ در مورد چهار الکترود با نوک‌های کوچک که در عمق b قرار گرفته اند صادق است. هنگامی که عمق قرار گیری الکترودها درون خاک کمتر از یک بیستم فاصله بین آن‌ها باشد مقدار مقاومت



شکل ۱ آرایش الکترودها در اندازه گیری مقاومت الکتریکی ویژه به روش ونر. I: آمپر متر. V: ولت متر. a: فاصله بین الکترودها. b: عمق نفوذ الکترود در خاک (Ergon energy, 2008).

Fig. 1. Electrodes array in measuring soil resistivity with Wenner method. I: Current meter, V: Volt meter, a: Distance between electrodes, b: Depth of electrodes.



شکل ۲ - دیاگرام کاری سامانه در حرکت تهیه نقشه هدایت الکتریکی، ساخته شده در این تحقیق. ۱: واحد کنترل و پردازش الکترونیکی، a: بخش قدرت، b: بخش پردازش، c: بخش ذخیره، ۲: شاسی، ۳: الکترودها، ۴: صفحه نمایش، ۵: رایانه، ۶: گیرنده GPS

Fig.2. Working diagram of this on the go soil EC mapper.

کاربرد دارند و به نام "پریشمان" شناخته می‌شوند.

واحد پردازش و کنترل الکترونیکی

این قسمت وظیفه تهیه ولتاژ مورد نیاز جهت اندازه گیری، پردازش ولتاژها و جریان‌های روی الکترودها و محاسبه و ذخیره داده‌های مربوط به هدایت الکتریکی ظاهری خاک در فواصل زمانی قابل تنظیم را دارد.

دستگاه دارای چهار الکترود فولادی از نوع صفحه ای با ابعاد $6 \times 250 \times 140$ میلیمتر می‌باشد. لبه جلویی الکترودها که عمل برش خاک را انجام می‌دهد به منظور کاهش مقاومت کششی، کمتر به هم خوردن سطح خاک و ایجاد شیباری یکنواخت، به طول ۱۰ میلیمتر از لبه جلویی تیغه تیز شدند. تمامی الکترودها به واسطه ی ساقه‌های فولادی، به فواصل مساوی ۳۰ سانتیمتر از هم روی شاسی نصب شدند. در محل اتصال الکترودها به ساقه و پیچ‌ها از صفحات پلاستیکی عایق کننده استفاده شد (شکل ۳). این صفحات به ضخامت $0/5$ میلیمتر جهت عایق بندی سیم پیچ موتورهای الکتریکی



شکل ۳- سامانه تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک. ۱ گیرنده GPS، ۲ واحد پردازش و کنترل، ۳ الکترودها

Fig.3. Mobile four electrode direct contact EC mapper

ساعت بکار گرفته شد. به دلیل آن که حداکثر دقت GPS ۵ متر بود، زمان داده برداری و سرعت تراکتور طوری تنظیم شد (هر ۱۰ ثانیه) که در فواصل ۵ متری عمل داده برداری و ذخیره صورت پذیرد. اطلاعات ذخیره شده در دستگاه که شامل ولتاژ الکترودهای ۱ و ۴ بر حسب ولت، ولتاژ قرائت شده بین الکترودهای ۲ و ۳ بر حسب ولت، جریان الکتریکی بین الکترودهای ۳ و ۲ بر حسب آمپر، هدایت الکتریکی ظاهری محاسبه شده بر حسب میکرو زمینس بر سانتیمتر و زمان بر حسب ثانیه می‌باشد، توسط پورت RS232 به رایانه انتقال داده شد.

هدایت الکتریکی ظاهری خاک تحت تاثیر شوری، رطوبت و میزان رس خاک اندازه گیری می‌شود. در نتیجه به منظور دستیابی به هدایت الکتریکی آزمایشگاهی^۱ لازم بود تا داده‌ها کالیبره شوند. محل‌های مناسب جهت تهیه نمونه خاک از مزرعه، توسط نرم افزار ESAP-RSSD انتخاب شد. نرم افزار ESAP-RSSD به همراه دو نرم افزار ESAP-Calibrate و ESAP-Saltmapper زیر مجموعه ی بسته نرم افزاری ESAP-95 نسخه ۲/۰۱ می‌باشند. این بسته جهت تحلیل داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری، کالیبراسیون و ترسیم نقشه تغییرات هدایت الکتریکی آزمایشگاهی خاک توسط اسکات لچ، جیمز رادس و دنیس کورون در سال ۲۰۰۶ توسعه یافته است (Lesch et al., 2000). نرم افزار ESAP-RSSD پس از تحلیل آماری داده‌ها تعداد ۲۰ نقطه از سطح زمین را، به منظور انجام کالیبراسیون، برای نمونه برداری انتخاب کرد. ۲۰ نمونه خاک از محل‌های تعیین شده تا عمق ۳۰ سانتیمتر تهیه، و هدایت الکتریکی آزمایشگاهی آن‌ها به روش عصاره یک به یک توسط دستگاه کندانومتر^۲ اندازه گیری شد. هدایت الکتریکی آزمایشگاهی ۲۰ نمونه خاک به همراه فایل تحلیل شده در نرم افزار RSSD جهت کالیبراسیون به نرم افزار ESAP-Calibrate انتقال داده شدند. این نرم افزار پس از تحلیل اولیه داده‌ها مدل رگرسیونی تخمین هدایت الکتریکی آزمایشگاهی از روی هدایت الکتریکی ظاهری خاک را تعیین کرد.

به منظور مقایسه نتایج بدست آمده با مقادیر هدایت الکتریکی آزمایشگاهی، در هر یک از ۱۱ مسیر داده برداری، تعداد ۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر توسط نمونه گیر استوانه ای تهیه شد. هدایت الکتریکی این ۵۵ نمونه به روش عصاره یک به یک توسط کندانومتر آزمایشگاهی تعیین شد

این واحد از چندین بخش تشکیل شده است که هر کدام وظیفه مخصوص به خود را داشته و از طریق مدارات الکترونیکی با یکدیگر در ارتباط هستند. این بخش‌ها عبارتند از بخش قدرت، بخش پردازش و بخش ذخیره داده‌ها. تمامی اطلاعات از جمله منوهای دستگاه روی یک صفحه نمایشگر کارکنری ۱۶×۲ نشان داده می‌شود. همچنین یک صفحه کلید ۴×۴ عمل ورود اطلاعات و کنترل منوها را بر عهده دارد. تغذیه دستگاه در دو حالت استفاده از برق ۱۲ ولت مستقیم تراکتور یا ۲۲۰ ولت متناوب امکان پذیر است. در حین کار در مزرعه از ولتاژ ۱۲ ولت باتری تراکتور استفاده می‌شود و در حالت ارتباط دستگاه با رایانه از ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر استفاده می‌شود.

در پشت دستگاه پورت‌های اتصال وجود دارد. در این قسمت کابل برق ۲۲۰ ولت متناوب، ورودی منبع تغذیه خارجی ۶۰ ولت مستقیم و ورودی برق ۱۲ ولت مستقیم از باتری تراکتور قرار دارد. برای این ورودی‌ها جهت حفظ ایمنی دستگاه و اپراتور از فیوزهای ۳ آمپر استفاده شده است. همچنین یک درگاه RS-232 جهت ارتباط دستگاه با رایانه و انتقال اطلاعات ذخیره شده در نظر گرفته شده است.

جهت آزمون و ارزیابی دستگاه، قطعه زمینی در محل پردیس دانشگاه فردوسی با طول ۱۱۰m و عرض ۷۵m در شمال و عرض ۴۱m در ضلع جنوبی، (شکل ۴) در نظر گرفته شد. بافت خاک لومی رسی با ۲۸ درصد رس و از درجه شوری پایینی برخوردار بود. میانگین رطوبت خاک بر پایه خشک ۶/۵ درصد اندازه گیری شد. به دلیل آن که خاک مزرعه تحت آزمون از درجه شوری پایینی برخوردار بود، انجام آزمون در رطوبت‌های پایین موجب به حداقل رسیدن اثر رطوبت بر نتایج می‌شد (Corwin & Lesch, 2003).

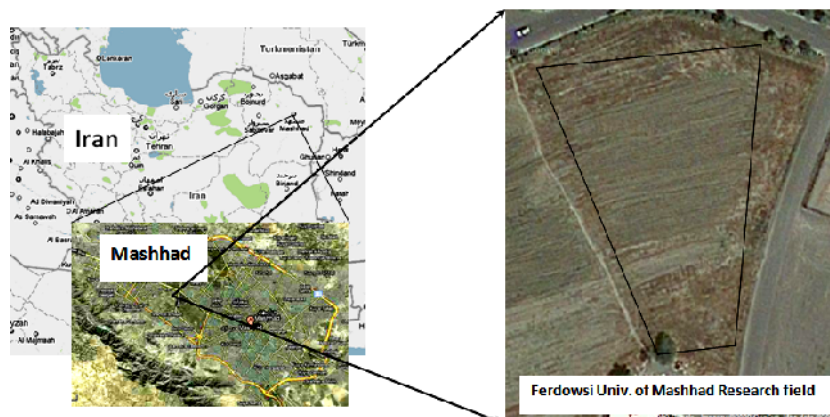
موقعیت جغرافیایی نقاط با استفاده از یک دستگاه GPS دستی مدل eTrex vista ساخت شرکت Garmin ثبت شد. حداکثر دقت مکان یابی این دستگاه ۵ متر است. این دقت با اتصال GPS به ۵ ماهواره میسر میشود. دقت ۵ متر در مقایسه با روش مرسوم تهیه نقشه‌های هدایت الکتریکی (بین ۲۰ تا ۵۰ متر) مناسب ارزیابی می‌شود.

الگوی داده برداری توسط این دستگاه به صورت ردیفی^۱ است. پس از اتصال دستگاه به تراکتور و حرکت در مزرعه، الکترودها درون خاک نفوذ کرده و در یک مسیر مستقیم ردیفی در طول یا عرض مزرعه هدایت الکتریکی را اندازه گیری می‌کند. در اجرای آزمون دستگاه عرض زمین به ۱۱ قسمت مساوی تقسیم شد. این عرض در ضلع شمالی و جنوبی زمین به ترتیب ۷۴ و ۴۱ متر می‌باشد. در این آزمون تراکتور MF399 جفت دیفرانسیل با سرعت ۱/۸ کیلومتر در

2- ECe

3- Conductometer Jenway model: 4310

1- Transect



شکل ۴ - عکس هوایی از مزرعه تحقیقاتی واقع در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و محدوده انجام آزمون دستگاه
Fig.4. Top view of the test field in Ferdowsi University of Mashhad campus.

جدول ۱ خصوصیات آماری داده‌های هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با دستگاه EC پشت تراکتوری

Table 1. Statistical properties of EC data's, measured by mobile EC mapper

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	میان	انحراف معیار	واریانس	ضریب تغییرات
هدایت الکتریکی ظاهری ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	۱۲۸۲/۵۱	۲۶۱/۸۱	۳۳۲۹/۱۵	۱۲۸۵/۸۳	۴۹۲/۵۷	۲۴۲۶۴۲/۲	۰/۳۸۴
هدایت الکتریکی کالیبره شده ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	۶۴۶/۱۳	۵۱۳/۳۱	۸۵۵/۷۴	۶۴۵/۶۹	۵۴/۴۲	۲۹۶۱/۶۷	۰/۰۸۴
هدایت الکتریکی نمونه‌های دستی ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	۶۲۲/۹۶	۴۵۹	۷۷۲	۶۳۲/۵	۸۲/۵۹	۶۹۸۷/۸۴	۰/۱۳۴

نتایج و بحث

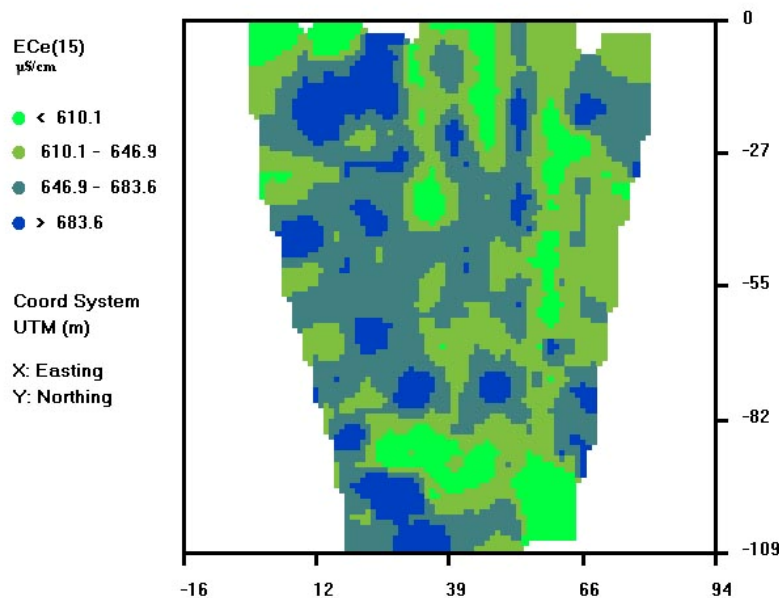
خلاصه آماره‌های توصیفی در جدول ۱ آمده است (Tajgordan *et al.*, 2009). همانطور که مشاهده می‌شود مقدار EC ظاهری از ۲۶۱/۸۱ تا ۳۳۲۹/۱۵ میکرو زیمنس بر سانتیمتر متغیر بوده و ضریب تغییرات آن ۰/۳۸۴ است. این مقدار ضریب تغییرات طبق طبقه بندی وایلدینگ (Wilding, 1985) برای خاک‌ها، بالاتر از ۰/۳۵ بوده و با تغییر پذیری زیاد بحساب می‌آید.

فایل داده‌های کالیبره شده توسط نرم افزار ESAP-Calibrate، جهت ترسیم نقشه تغییرات هدایت الکتریکی به نرم افزار ESAP-Saltmapper ارسال شد. شکل ۵ نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه مورد آزمون را نشان می‌دهد. در این شکل نقاط با EC بالای $683/6 \mu\text{S.cm}^{-1}$ به رنگ آبی و نقاط با EC کمتر از $610/1 \mu\text{S.cm}^{-1}$ به رنگ سبز مشخص شده اند. این بیانگر حساسیت دستگاه در تشخیص تغییرات هدایت الکتریکی مناطق مختلف مزرعه حتی در بازه تغییرات زیر $73 \mu\text{S.cm}^{-1}$ می‌باشد.

شکل ۶ نمودار تغییرات هدایت الکتریکی کالیبره شده و هدایت

الکتریکی اندازه گیری شده در آزمایشگاه را در نقاط مختلف مسیر حرکت دستگاه نشان می‌دهد. در این نمودار به منظور مقایسه بهتر، ۵۵ داده هدایت الکتریکی کالیبره شده متناظر با ۵۵ محل نمونه برداری، از بین ۲۰۰ داده موجود انتخاب گردید. مقایسه دو منحنی نزدیکی نتایج پیش بینی شده را با هدایت الکتریکی آزمایشگاهی زمین نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود دو نمودار در اکثر نقاط بسیار به هم نزدیک می‌باشند در حالی که در نقاطی مانند ۳۸، ۴۰ و ۵۷ فاصله دو منحنی از یکدیگر زیاد شده است. فاصله بین منحنی‌ها در این نقاط به دلیل خطاهای ایجاد شده در طی فرایند اندازه گیری و کالیبراسیون می‌باشد.

نمودار شکل ۷ پراکنش مقادیر واقعی و تخمین زده شده هدایت الکتریکی خاک را نشان می‌دهد. میزان همبستگی آنها در حالت خطی برابر ۰/۶۱ محاسبه شده است. این مقدار همبستگی در مقایسه با روش عکسبرداری ماهواره ای با $r^2 = 0/52$ با توجه به ضریب تغییرات و مقدار RMSE ۵۶/۲۴، مناسب ارزیابی می‌شود.



شکل ۵- نقشه تغییرات هدایت الکتریکی خاک مزرعه پردیس دانشگاه فردوسی بعد از کالیبراسیون با بسته نرم افزاری ESAP-95
Fig.5. Soil EC map of the research field measured by the on the go EC mapper and calibrated by ESAP-95 software package.

جدول ۴ خصوصیات آماری مدل رگرسیونی کالیبراسیون داده ها

Table 2. Statistical properties of calibration regression model

نام متغیر	ME	RMSE	R ²	سطح معنی داری مدل
هدایت الکتریکی کالیبره شده (μS.cm ⁻¹)	۶۵/۲۷	۵۶/۲۴	۰/۶۱	P<۰/۰۲۳۴

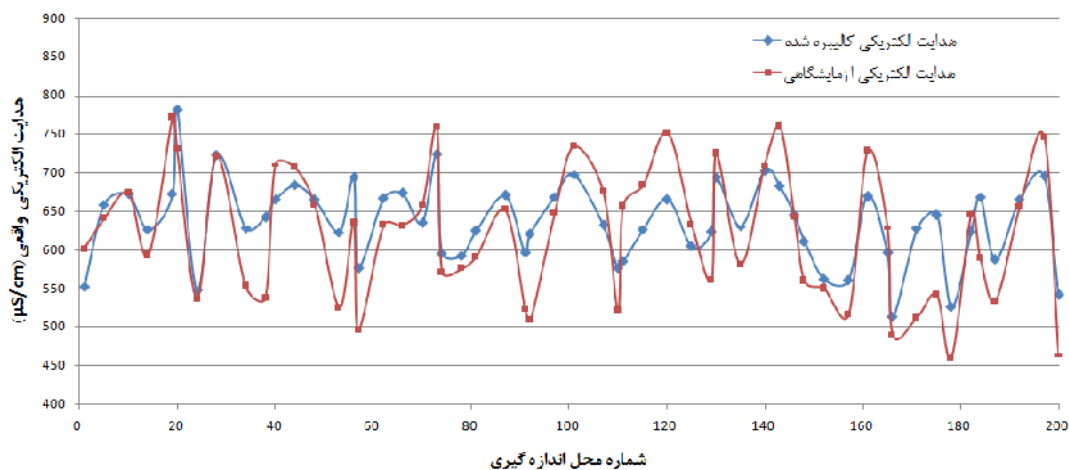
روش تماس مستقیم با حاصلخیزی برنج در مالزی ۰/۵۲ بدست آمده است (Amin *et al.*, 2004). بررسی مقالات مرتبط با پیش بینی خصوصیات خاک حاکی از بالا بودن میزان خطا و همبستگی کم نتایج با متغیر مورد نظر می باشد. این ها به دلیل غیر قابل پیش بینی بودن محیط خاک می باشد.

بررسی عوامل بروز خطا

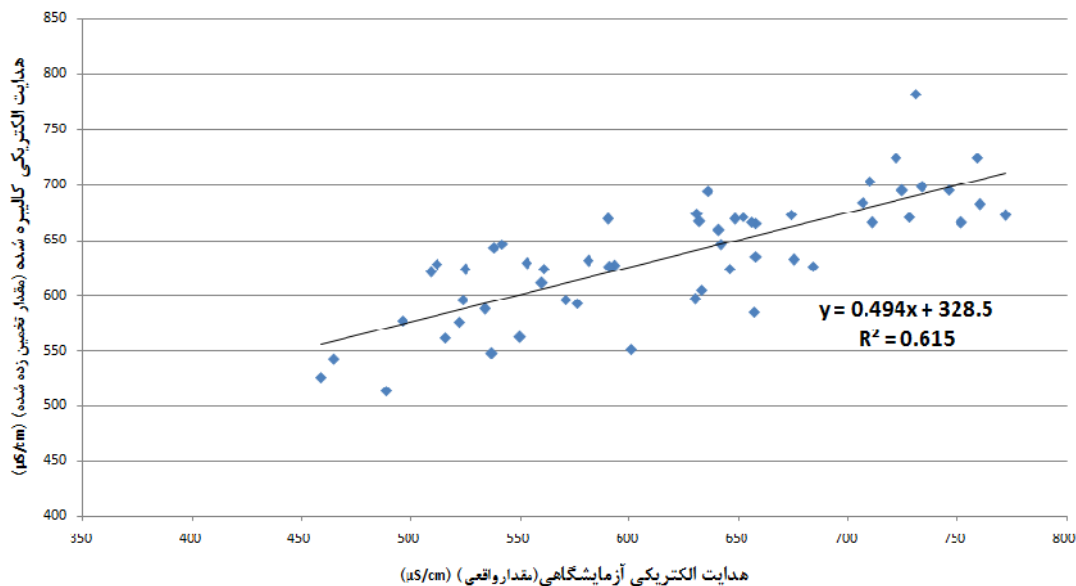
در شرایط آزمایشگاهی همبستگی نتایج هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش ونر با هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به روش عصاره یک به یک، به طور میانگین (R-square) ۰/۹۷ بدست آمده است (Baradaran *et al.*, 2010). این میزان همبستگی بیانگر دقت بالای روش تماس مستقیم، تحت شرایط کنترل رطوبت، فشردگی و بافت خاک، در تخمین هدایت الکتریکی آزمایشگاهی می باشد. به طور کل محتوی رطوبتی، درصد رس و فشردگی خاک پارامترهای تاثیر گذار در اندازه گیری هدایت الکتریکی به روش تماس مستقیم (روش ونر) می باشند. بر پایه این سه پارامتر می توان عوامل بروز خطا در مزرعه با محیط خاک ناهمگن و در حین حرکت دستگاه، را نام برد:

نمودار شکل ۸ بیانگر فراوانی تغییرات خطا در بین داده های هدایت الکتریکی خاک مزرعه پردیس دانشگاه فردوسی می باشد. حداکثر خطای مثبت ۱۲/۹۴ درصد و حداکثر خطای منفی ۴۲/۶۴ درصد می باشد، در حالیکه میانگین خطا (ME) و انحراف معیار خطای مدل (RMSE) به ترتیب برابر ۶۵/۲۷ و ۵۶/۲۴ محاسبه شد (Tajgordan *et al.*, 2009). همچنین اختلاف نتایج کالیبره شده با نتایج آزمایشگاهی در بازه ی ۹۹/۹ و ۶۱۵/۹ میکرو زیمنس بر سانتیمتر قرار دارد. به طوریکه میانگین اختلاف برابر ۴۷/۵ μS.cm⁻¹ محاسبه شد.

در تحقیقی میزان همبستگی تغییرات هدایت الکتریکی با تغییرات رس خاک ۰/۳۴ گزارش شده است (Shevnin *et al.*, 2004). عبدی نام و همکاران در دشت قزوین نقشه شوری خاک را با استفاده از تصاویر ماهواره ای پیش بینی کردند. همبستگی بین EC و درجات روشنایی باند ۷ برابر، ۰/۲۵ بدست آمد (Abdinam *et al.*, 2004). همچنین تحقیق مشابهی در استان گلستان انجام شد که در آن همبستگی EC واقعی و تخمین زده شده ۰/۵۳ محاسبه شده است (Tajgordan *et al.*, 2009). همبستگی EC اندازه گیری شده به

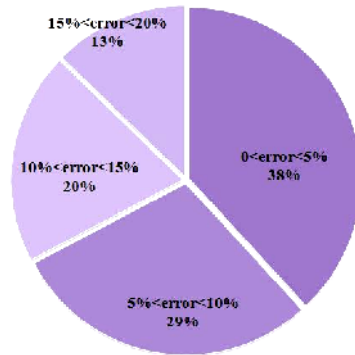


شکل ۶ - مقایسه بین تغییرات هدایت الکتریکی کالیبره شده و هدایت الکتریکی آزمایشگاهی نقاط مختلف مزرعه^۱
 Fig. 6. Comparing variability of calibrated EC and laboratory EC in different points of the research field



شکل ۷ - نمودار پراکنش مقادیر آزمایشگاهی و تخمین زده شده هدایت الکتریکی
 Fig. 7. Scatter diagram of estimated and laboratory EC

۴ هدایت الکتریکی واقعی: هدایت الکتریکی که از عصاره ۱:۱ توسط دستگاه کندانکتو متر آزمایشگاهی اندازه گیری می شود. هدایت الکتریکی آزمایشگاهی: هدایت الکتریکی نقاطی از مزرعه که جهت مقایسه انتخاب شد. هدایت الکتریکی آنها در آزمایشگاه تعیین گردید. هدایت الکتریکی کالیبره شده: هدایت الکتریکی که توسط دستگاه پشت تراکتوری اندازه گیری شد و سپس در نرم افزار نسبت به هدایت الکتریکی آزمایشگاهی کالیبره گردید. به نوعی می توان آن را هدایت الکتریکی تخمین زده شده نیز نامید.



شکل ۸- خطای اندازه‌گیری نسبت به مقدار واقعی در بازه‌های مختلف بر حسب درصد

Fig. 8. Estimated errors in different divisions

مقایسه نتایج تاثیر گذار بود.

۵ خطای ناشی از تغییر حجم خاک: دستگاه ساخته شده، هدایت الکتریکی ظاهری متوسط حجم توده ای از خاک به شکل نیم کره (منبع) و به شعاع ۳۰ سانتیمتر را اندازه‌گیری می‌کند. در صورتی که در مقایسه نتایج با هدایت الکتریکی آزمایشگاهی، نمونه‌های خاک الزاماً حجم کمی دارند. در نتیجه مقایسه دو مقدار همراه با خطا خواهد بود.

۶ خطای دستگاه اندازه‌گیری: دستگاه ساخته شده همانند هر دستگاه اندازه‌گیری دیگر دارای خطا می‌باشد. مقدار این خطا با استفاده از مدارات الکترونیکی ایزوله شده و رعایت اصول اندازه‌گیری به حداقل رسیده است. به طوری که نتایج اندازه‌گیری دستگاه در شرایط کنترل شده در آزمایشگاه با ضریب ۰/۹۸ با هدایت الکتریکی عصاره ۱:۱ همبستگی دارد.

با توجه به توضیحات فوق در مقایسه با نتایج سایر تحقیقات انجام شده، میزان همبستگی بدست آمده در این مقاله ($r^2=0.61$) برای پیش بینی هدایت الکتریکی آزمایشگاهی قابل قبول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری خاک با استفاده از نمونه برداری از نقاط مختلف زمین به هدایت الکتریکی آزمایشگاهی کالیبره شد. با استفاده از داده‌های کالیبره شده نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه توسط بسته نرم افزاری ESAP-95 ترسیم گردید. همچنین به منظور ارزیابی نتایج دستگاه، به روش نمونه برداری نقطه ای از مزرعه، هدایت الکتریکی (ECe) نقاط مختلف زمین در فواصل مشخص در آزمایشگاه تعیین شد. مقایسه نتایج در روش تعیین هدایت الکتریکی نشان داد. حداکثر خطای مثبت ۱۲/۹۴ درصد و حداکثر خطای منفی ۴۲/۶۴ درصد می‌باشد، در حالی که میانگین خطا (ME) و انحراف معیار خطای مدل (RMSE) به

۴ خطای ناشی از حرکت^۱: سطح خاک مزرعه معمولاً دارای پستی بلندی، کلوخه، سنگ، ریشه و سایر ناخالصی‌ها می‌باشد. حرکت دادن الکترودها در خاک موجب برخورد با ناخالصی‌ها و تغییر سطح تماس موثر آنها با خاک می‌شود. تغییر سطح تماس موجب بروز تغییر در مقدار جریان الکتریکی گذر داده شده می‌شود، که خود مقدار هدایت الکتریکی محاسبه شده را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۴ خطای ناشی از تغییرات رطوبت^۲: تغییر در محتوی رطوبتی در نقاط مختلف خاک مزرعه موجب تغییر در خاصیت گذر دهی الکتریکی خاک می‌شود. این امر موجب تغییر هدایت الکتریکی ظاهری می‌شود. در خاکهایی که شور نیستند، هدایت الکتریکی ظاهری بیشتر تحت تاثیر تغییرات رطوبت است (Corwin & Lesch, 2003).

۳ تغییرات فشردگی^۳: تغییر در فشردگی خاک از دو منظر در نتیجه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی تاثیر گذار است. اولاً فشردگی بیشتر خاک موجب تماس بهینه الکترودها با ذرات خاک شده و ثانیاً فشردگی بیشتر موجب کاهش فاصله‌های هوایی بین ذرات خاک و در نتیجه تسهیل در عبور جریان الکتریکی می‌گردد (Baradaran et al., 2010).

۴ خطای مکان یابی^۴: دستگاه‌های تعیین موقعیت جغرافیایی (GPS) همواره دارای مقداری خطا در تعیین محل می‌باشند که این خطا با توجه به شرایط آب و هوایی، موقعیت ماهواره‌ها و ... تغییر می‌کند. در این تحقیق GPS مورد استفاده دقت ۵ متر را با ۵ ماهواره برای ما تامین کرد. خطای مکان یابی، در تعیین محل دقیق نمونه برداری خاک به منظور تست آزمایشگاهی و

- 1- Mobility errors
- 2- Moisture Variability
- 3- Soil Compaction effect
- 4- GPS errors

۱۰ درصد قرار گرفته اند. بدین ترتیب باتوجه به ارزیابی در زمین با شوری کم و میزان خطای معقول برای دستگاهی که درون خاک با محیطی غیر قابل پیش بینی کار می کند، می توان آن را جهت تهیه نقشه های هدایت الکتریکی به منظور اجرای برنامه کشاورزی دقیق پیشنهاد نمود.

ترتیب برابر ۲۷/۴۵ و ۲۴/۵۶ محاسبه شد. همچنین اختلاف نتایج کالیبره شده با نتایج آزمایشگاهی در بازه ی ۹۹/۹ و ۱۵/۹۴ میکروزیمنس بر سانتیمتر قرار دارد. به طوری که میانگین اختلاف برابر $47/5 \mu S.cm^{-1}$ محاسبه شد. این نتایج در شرایطی است که خاک مزرعه شور نبوده و ۶۷ درصد نتایج در محدوده خطای صفر تا

منابع

- 1- Abdinam A. 2004. An investigation on preparing of the soil salinity map using correlation method between imagery and soil salinity data in Qazvin plain, journal of Pajouhesh & Sazandegi No:64 pp: 33-38, Autumn 2004. (in Persian)
- 2- Amin M.S.M., Aimrun W., Eltaib S.M., Chan C.S. 2004. Spatial soil variability mapping using electrical conductivity sensor for precision farming of rice, International Journal of Engineering and Technology, Vol. 1, No. 1, 2004, pp. 47 – 57.
- 3- Baradaran Motie J., Aghkhani M.H., Abaspour-Fard M.H., Lakzian A. 2010. Determining soil EC based on Wenner method with plate type probes as a component of precision farming, First international conference of soil and root relationship (LANDCON1005), 24-26 May 2010, Ardabil , Iran.
- 4- Corwin K., Loague, and Ellsworth T.R. 1999. Assessment of non-point source pollution in the vadose zone. Geophysical Monogr. 108. AGU, Washington, DC.
- 5- 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.
- 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- 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.
- 8- 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.
- 9- Lesch S.M., Rhoades J.D., and Corwin D.L. 2000. ESAP-95 Version 2.01R User Manual and Tutorial Guide, United States Department of Agriculture Agricultural Research Service George E. Brown, Jr., Salinity Laboratory Riverside, California.
- 10- 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.
- 11- Rhoades J.D., Corwin D.L., and Lesch S.M. 1999. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. p. 197-215. In D.L.
- 12- Sarec O., Sarec P., Prosek V. Measuring of soil electrical conductivity for mapping of spacial variability of soil properties within a field. RES. AGR. ENG., 48, 2002 (4): 131-136.
- 13- Shevnin V., Delgado O., Mousatov A., Ryjov A. 2004. Soil resistivity measurements for clay content estimation and its application for petroleum contamination study, SAGEEP-2004, Colorado Springs. p. 396-408.
- 14- Tajgordan T., Ayoubi Sh., Shataii Sh., Khormali F. 2009. Mapping soil surface salinity using remote sensing data of ETM⁺ (Case study: North of Agh Ghala, Golestan Province), Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 16(2). (in persian)
- 15- Wilding L.P. 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation, and implication to soil survey. In: Nielsen, D.R., and J. Bouma, (eds.), Soil Spatial Variability, Pudoc, Wageningen, the Netherlands. 166-194.
- 16- Sharifi A., Azizi M. 2009. Recognition and presentation of soil EC measuring technique in precision agriculture, Gol Azin No.4 November 2009.