



بررسی استفاده از حسگر هدایت الکتریکی Veris 3100 برای تهیه نقشه های مزرعه ای استحکام/فشردگی خاک

مجتبی نادری بلداجی<sup>۱\*</sup>، احمد شریفی<sup>۲</sup>، عباس همت<sup>۳</sup>، رضا علیمردانی<sup>۴</sup>، توماس کلر<sup>۵</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، naderi.mojtaba@agr.sku.ac.ir

۲- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج (AERI)

۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

5-Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Department of Natural Resources & Agriculture, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zurich, Switzerland

## چکیده

فشردگی خاک یکی از مسائل جدی در مدیریت سامانه‌های کشاورزی می‌باشد که باعث کاهش رشد ریشه گیاه و عملکرد محصول می‌شود. استفاده روز افزون از ماشین‌های سنگین و تردد آنها در مزرعه بخصوص در شرایط نامساعد خاک خطرات تخریب ساختار خاک و فشردگی را افزایش داده و آن را به یک چالش جدی در مدیریت خاک تبدیل کرده است. با پیشرفت فناوری کشاورزی دقیق، تلاش زیادی در جهت توسعه حسگرهای در حال حرکت برای اندازه‌گیری فشردگی خاک انجام گرفته است. اغلب حسگرهای در حال حرکت توسعه داده شده تا کنون حسگرهای مکانیکی بوده که نیروی برش یا نفوذ یک ابزار مکانیکی را به عنوان پارامتری مرتبط با وضعیت فشردگی در اختیار قرار می‌دهند. در این تحقیق یک حسگر تجاری هدایت الکتریکی ظاهری خاک (Veris 3100) در ترکیب با یک نفوذسنج افقی مرکب (مجهز به حسگر دی الکتریک رطوبت خاک) در شرایط مزرعه‌ای و به منظور تهیه نقشه و امکان ایجاد ارتباط بین هدایت الکتریکی ظاهری ( $EC_a$ ) در عمق ۰-۳۰ cm و خصوصیات فیزیکی خاک و همچنین مقاومت نفوذسنج افقی (PR) و محتوای رطوبت حجمی خاک ( $\theta_v$ ) مورد بررسی قرار گرفت. نقشه های مزرعه‌ای تهیه شده برای سه پارامتر  $EC_a$ ،  $\theta_v$  و PR الگوهای نسبتاً مرتبطی را نشان دادند که بیانگر پتانسیل استفاده از این حسگر برای تشخیص نواحی مدیریتی فشردگی در مزرعه می باشد. رابطه  $EC_a$  با برخی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله بافت، رطوبت و چگالی ظاهری نیز مورد بررسی قرار گرفت.

**واژه های کلیدی:** حسگرهای در حال حرکت، فشردگی خاک، کشاورزی دقیق، هدایت الکتریکی ظاهری



## مقدمه

طبق تعریف مجمع علوم خاک آمریکا (SSSA, 1996)، فشردگی خاک فرایندی است که طی آن، دانه‌های خاک با فضای خالی کمتر و با فواصل نزدیک‌تر کنار یکدیگر قرار گرفته که در نهایت هوا از خاک خارج شده و منجر به افزایش چگالی ظاهری خاک خواهد شد. عامل اصلی در فشردگی خاک، نیروهای مختلفی است که به سطح یک خاک غیراشباع وارد می‌شوند (Gill and Vanden Berg, 1968). در سامانه‌های کشاورزی، خطر فشردگی خاک با افزایش عملیات‌های کشاورزی و تلاش برای بهره‌وری بیشتر که منجر به استفاده از تجهیزات و ماشین‌های سنگین‌تر شده، رو به افزایش است. فشردگی خاک بیش از حد، اثرات منفی بر کشاورزی و محیط به همراه خواهد داشت. علاوه بر اثرات مخرب بر ساختار خاک، فشردگی مانع رشد مناسب ریشه گیاه و در نتیجه مانع دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی شده، تولید محصول را کاهش داده، فرسایش و آب دوی خاک را افزایش داده، آلودگی آب‌های سطحی را به وسیله مواد شیمیایی اعمال شده شتاب بخشیده و باعث استفاده غیر کارآمد آب و مواد غذایی در اثر زهکشی ضعیف خاک خواهد شد (Hemmat and Adamchuk, 2008). عملیات‌های مختلف خاک‌ورزی با مصرف انرژی زیاد و همچنین دیگر روش‌های مدیریت مزرعه جهت از بین بردن این لایه‌های/نواحی فشرده انجام می‌شوند (Jahson and Baily, 2002). به ویژه زمانی که خاک‌ورزی عمیق نیاز باشد، مصرف انرژی به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر خواهد بود. لذا تشخیص تغییرات مزرعه ای فشردگی می تواند در مدیریت موضعی فشردگی خاک منجر به ذخیره نهاده های مهمی از جمله انرژی خاک ورزی شود (Garner et al., 1989; Khalilian et al., 2004).

با پیشرفت فناوری حسگرها، توجه مهندسان و محققان کشاورزی دقیق روز به روز به سمت توسعه و بکارگیری حسگرهای در حال حرکت خاک افزایش یافته به طوری که در دو دهه گذشته پیشرفت‌های چشمگیری در این حوزه از کشاورزی دقیق حاصل شده است. ولی با این حال محققان هنوز در چالشی جدی برای توسعه حسگرهای در حال حرکت برای اندازه‌گیری فشردگی خاک می‌باشند. اغلب حسگرهای در حال حرکت توسعه داده شده تا کنون حسگرهای مکانیکی بوده که نیروی برش یا نفوذ یک ابزار مکانیکی را به عنوان پارامتری مرتبط با وضعیت فشردگی در اختیار قرار می‌دهند. این در حالی است که چنین پارامتری تحت تاثیر همزمان چندین مشخصه فیزیکی خاک از جمله چگالی ظاهری (فشردگی)، محتوای رطوبت و مواد ارگانیک و بافت خاک بوده و لذا یک اندازه‌گیری ترکیبی از مشخصه‌های فوق الذکر خاک می‌باشد که تفسیر آن بمنظور ایجاد ارتباط با وضعیت فشردگی و مقایسه فشردگی در خاک‌های مختلف مشکل می باشد (Naderi-Boldaji et al., 2013; Quraishi and Mouazen, 2013). از طرف دیگر به دلیل تماس فیزیکی حسگرهای مکانیکی با خاک بخصوص در شرایط اندازه‌گیری در عمق خاک، نیاز به استحکام بالا برای دستیابی به یک عملکرد مناسب این نوع حسگرها می باشد.

هدایت الکتریکی ظاهری ( $EC_a$ ) خاک بیانگر توانایی رسانش الکتریکی جریان مستقیم در خاک می باشد. هدایت الکتریکی یک پارامتر ترکیبی از برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی تاثیرگذار بر ظرفیت تولید خاک از جمله میزان نمک های محلول موجود در خاک



(شوری)، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک، محتوای مواد ارگانیک، رطوبت و ظرفیت نگهداری آب و فشردگی می باشد. به دلیل قابلیت اطمینان، سرعت و راحتی اندازه گیری این پارامتر و همچنین ارتباط آن با محدوده ای از خصوصیات مهم فیزیکی- شیمیایی خاک، نقشه های مزرعه ای  $EC_a$  امروزه بعنوان یک ابزار مدیریتی مفید مورد توجه محققان قرار گرفته است (Corwin and Lesch, 2005). تحقیقات زیادی حاکی از ارتباط نزدیک الگوهای تغییرات عملکرد محصول و  $EC_a$  می باشد (Corwin *et al.*, 2003; Sun *et al.*, 2011). همچنین محققین زیادی شباهت‌هایی را بین نقشه‌های فشردگی یا جرم مخصوص و هدایت الکتریکی گزارش کرده اند (Jabro *et al.*, 2005; Seladji *et al.*, 2010; Siqueira *et al.*, 2010).

مقاومت نفوذسنج افقی (PR) همانطور که قبلاً نیز اشاره شد تابعی از برخی خصوصیات فیزیکی خاک نظیر رطوبت، چگالی ظاهری، بافت و محتوای مواد ارگانیک می باشد (Naderi-Boldaji *et al.*, 2013). PR بیانگر میزان استحکام خاک و به عنوان یک پارامتر برای ارزیابی وضعیت فشردگی خاک بسیار کاربردی می باشد. لذا هدف کلی از این تحقیق بررسی ارتباط نقشه های  $EC_a$ ، PR و محتوای رطوبت حجمی و اینکه تا چه حد از پارامتر  $EC_a$  در عمق ۰-۳۰ cm می توان برای ارزیابی وضعیت فشردگی/استحکام خاک سطحی استفاده نمود. اهداف جزئی این مطالعه بررسی و تعیین مشخصه های اثرگذار خاک بر  $EC_a$  بمنظور ایجاد ارتباط با چگالی ظاهری خشک بود.

## مواد و روشها

### نفوذسنج افقی مرکب (Combined Horizontal Penetrometer)

نفوذسنج افقی مرکب توسعه داده شده توسط نادری بلداجی و همکاران (Naderi-Boldaji *et al.*, 2012) جهت اندازه گیری مزرعه ای بر روی یک شاسی اتصال سه نقطه و تراکتور سوار شد (شکل ۱). این نفوذسنج افقی مرکب مجهز به یک حسگر دی الکتریک برای اندازه گیری محتوای رطوبت حجمی خاک ( $\theta_v$ ) در حال حرکت علاوه بر مقاومت نفوذسنج (PR) در یک عمق مشخص می باشد. مخروط افقی آن به قطر ۳۰ mm می باشد که بر روی تیغه‌ای فولادی با ضخامت ۲۵، پهنای ۱۵۰ و طول ۹۰۰ mm نصب گردید. به منظور تسهیل برش خاک توسط تیغه و جلوگیری از ایجاد گوه گسیختگی خاک در جلوی تیغه، پیشانی جلویی آن با زاویه ۶۰ درجه مخروطی شد. از آنجا که یک نیروی بالاسو در حین اندازه‌گیری بر روی تیغه باعث خروج تیغه از خاک می‌گردید، چهار وزنه ۵۰ کیلوگرمی نیز بر روی شاسی اضافه شد.

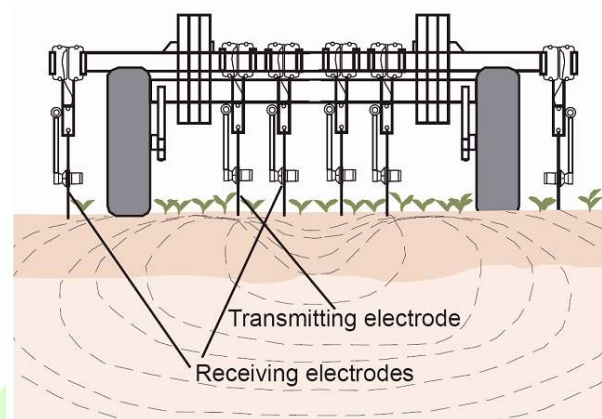


شکل ۱. نفوذسنج افقی مرکب (Naderi-Boldaji *et al.*, 2012)

برای اندازه‌گیری PR، یک مبدل نیروی S شکل (Model DBBP, Bongshin Load Cell Co., Ltd., Korea) با ظرفیت دوهزار نیوتن در آزمایشگاه و تحت بار فشاری واسنجی شد. در نهایت مبدل واسنجی شده بر پشت تیغه به میله حسگر متصل و مقید شد. کابل‌های حسگر دی الکتریک و مبدل نیرو توسط لوله‌ای که بر پشت تیغه جوش داده شد به بیرون هدایت شده و به مدار تغذیه و دیتا لاگر متصل شدند. مدار تغذیه و پردازش این دو حسگر از باتری تراکتور تغذیه شده و خروجی حسگرها به صورت آن لاین توسط یک دیتالاگر تجاری (IOtech, Personal Daq/56<sup>TM</sup> Series, USA) با بسامد 32 Hz و میانگین محرک 4 بر روی یک رایانه کیفی ذخیره شد.

### حسگر هدایت الکتریکی Veris 3100

همانطور که در شکل ۲- الف نشان داده شده، حسگر Veris 3100 دارای یک جفت الکترودهای فرستنده برای ارسال جریان و دو جفت الکترودهای گیرنده برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری (تجمعی) در عمق کوتاه (۰ - ۳۰ cm) و عمیق (۰ - ۹۰ cm) می‌باشد. همچنین این حسگر مجهز به آنتن GPS برای ثبت داده‌های مکانی می‌باشد. شکل ۲- ب اتصال حسگر Veris 3100 به نفوذسنج افقی را برای اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان می‌دهد.



ب

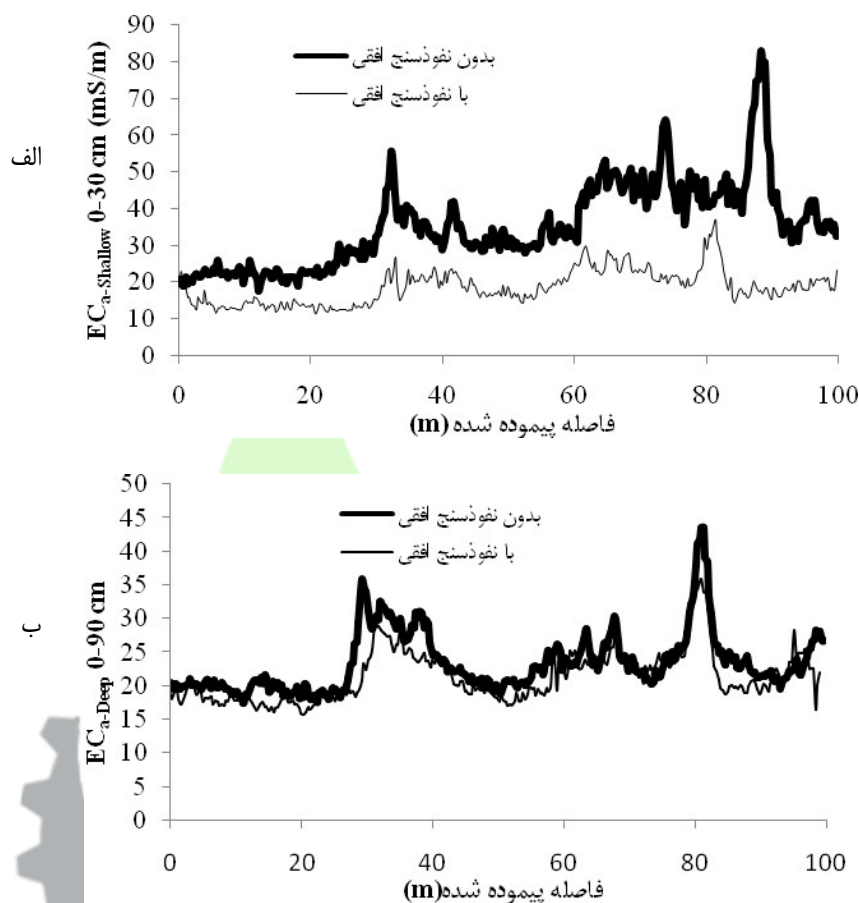
الف

**شکل ۲. الف-** آرایش الکترودهای گیرنده و فرستنده حسگر Veris 3100 و **ب-** حسگر Veris 3100 متصل به نفوذسنج افقی مرکب جهت اندازه‌گیری های مزرعه ای

### اندازه‌گیری های مزرعه ای و نمونه برداری

از آنجا که هدف از بکارگیری حسگر Veris 3100 در این تحقیق بررسی ارتباط  $EC_a$  با وضعیت استحکام/فشردگی خاک بود، لذا در ابتدا آزمونی در مزرعه جهت تشخیص اثر بهم خوردگی خاک توسط نفوذسنج افقی بر  $EC_a$  در دو عمق کوتاه و عمیق انجام شد. در یک خط به طول ۱۰۰ m در یک عبور بدون داخل کردن نفوذسنج افقی در خاک فقط  $EC_a$  اندازه‌گیری شد و در عبور دوم بر روی همان خط در حالی که نفوذسنج افقی نیز تا عمق ۲۵ cm در خاک بود اندازه‌گیری با Veris 3100 انجام گرفت. شکل ۳ - الف نشان می‌دهد که بهم خوردگی خاک تا عمق تقریباً ۳۰ cm (عمق کاری تیغه نفوذسنج افقی) توسط نفوذسنج افقی بر روی هدایت الکتریکی ۳۰-۰ تا ۳۰-۰ تاثیر معنی داری داشته که به وضوح مشخص است در حالی که بر روی هدایت الکتریکی عمیق ۹۰-۰ تا ۳۰-۰ تاثیری نداشته است (شکل ۳- ب). این نتیجه نشان می‌دهد که اتصال خاکدانه‌ها به یکدیگر با فشردگی زیادتر باعث افزایش هدایت الکتریکی شده که البته مورد انتظار است. از این رو ایده بکارگیری حسگر هدایت الکتریکی جهت ایجاد ارتباط با وضعیت فشردگی منطقی می‌باشد. لذا برای اندازه‌گیری های مزرعه ای بعدی از دو حسگر بطور جداگانه استفاده شد بنحوی که در ابتدا Veris 3100 و سپس نفوذسنج افقی مورد استفاده قرار گرفت.





شکل ۳. الف- اثر بهم خوردگی خاک توسط نفوذسنج افقی بر هدایت الکتریکی کوتاه ۳۰-۰ و ب- بر هدایت الکتریکی عمیق ۹۰-۰

اندازه گیری های مزرعه ای پس از برداشت ذرت علوفه ای در یک قطعه مزرعه یک هکتاری واقع در ایستگاه تحقیقات چغندر قند کمال آباد کرج (Lat: 35° 84' N, Lon: 50° 86' E) انجام شد. ۸ خط ۱۳۰ m با فاصله ۱۰ متر بین خطوط برای اندازه گیری علامت گذاری شد. پس از اندازه گیری هدایت الکتریکی با دستگاه Veris 3100 بر روی این هشت خط، دو خط عمود ابتدا و انتهای قطعه نیز اندازه گیری شد تا مختصات شکل کامل قطعه حاصل گردد. سرعت حرکت در حین اندازه گیری  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  بود. داده های مکانی با GPS دستگاه Veris ثبت شد. سپس اندازه گیری ها با نفوذسنج افقی مرکب در عمق ۲۵ cm بر روی همان خطوط انجام شد. پس از اندازه گیری های مزرعه ای، مکان نمونه گیری دست نخورده از خاک با توجه به تغییرات سیگنال خروجی مبدل نیرو و حسگر دی الکتریک انتخاب شدند. در ۱۵ نقطه در این قطعه مزرعه نمونه های دست نخورده با سیلندرهای با ارتفاع ۶۰ و قطر ۱۰۰ mm از عمق ۲۲-۲۸ cm (عمق کاری نفوذسنج) استخراج شد. نمونه ها پس از انتقال به آزمایشگاه در آن در دمای ۱۰۵ به مدت ۴۸ ساعت



خشکانده شدند. محتوای رطوبت و چگالی ظاهری آنها تعیین گردید. سپس نمونه‌ها برای آنالیز بافت، محتوای مواد ارگانیک و هدایت الکتریکی گل اشباع مورد آزمایش قرار گرفتند.

### نتایج و بحث

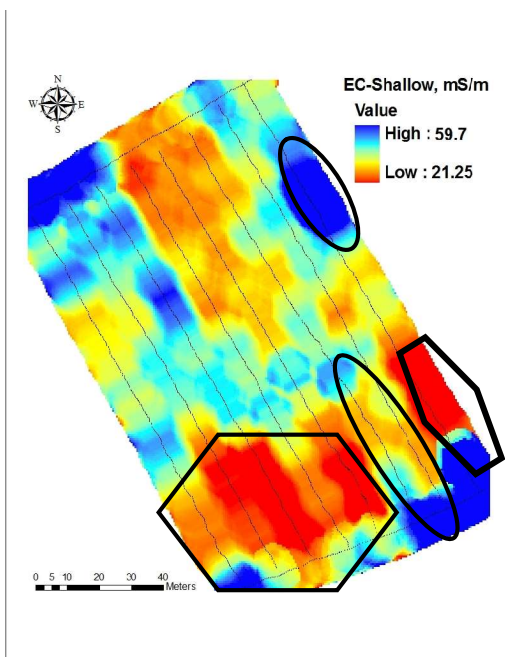
#### نقشه‌های مزرعه‌ای و مقایسه آنها

شکل ۴ نقشه‌های درون‌یابی شده سه پارامتر  $\theta_v$ ،  $EC_a$ -Shallow و  $PR$  را نشان می‌دهد که با روش درون‌یابی Kriging در نرم افزار ArcGIS 9.3 به دست آمده است. الگوهای قابل مقایسه‌ای در این نقشه‌ها به شرح ذیل مشاهده می‌شوند:

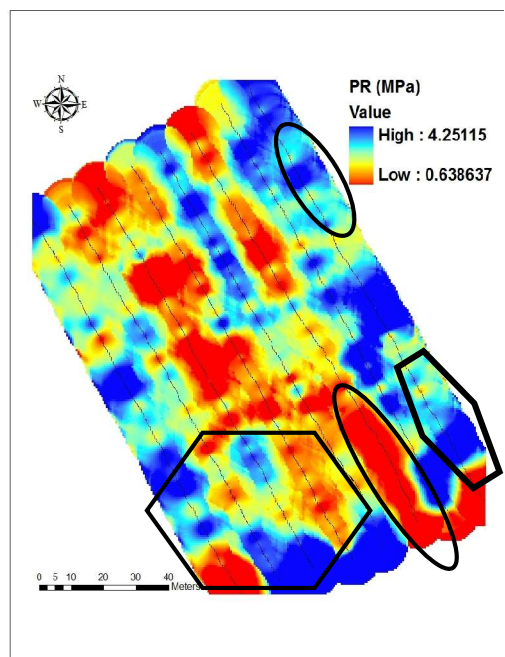
۱- در نواحی که با شش ضلعی (دو ناحیه) نشان داده شده،  $EC_a$  مقادیر پایین تری را نشان می‌دهد در حالی که نقشه  $\theta_v$  در همان محل نیز ناحیه کم رطوبتی را نشان می‌دهد. لذا می‌توان پایین بودن  $EC_a$  در این ناحیه را قطعاً با کم بودن رطوبت خاک توجیه نمود. نقشه  $PR$  در همان ناحیه نشان دهنده مقاومت مکانیکی نسبتاً بالایی بوده که این نیز با پایین بودن رطوبت در آن ناحیه سازگار است.

۲- در ناحیه‌ای که با بیضی بزرگ نشان داده شده رفتار نسبتاً متفاوتی از خاک مشاهده می‌شود بطوری که رطوبت بالای این ناحیه باعث کاهش  $PR$  شده ولی  $EC_a$  در این ناحیه در حد میانی روبره مقادیر کم می‌باشد که ظاهراً تحت تاثیر خصوصیت دیگری از خاک غیر از رطوبت می‌باشد. ممکن است در این ناحیه تغییرات بافت یا شوری  $EC_a$  را تحت تاثیر قرار داده باشد.

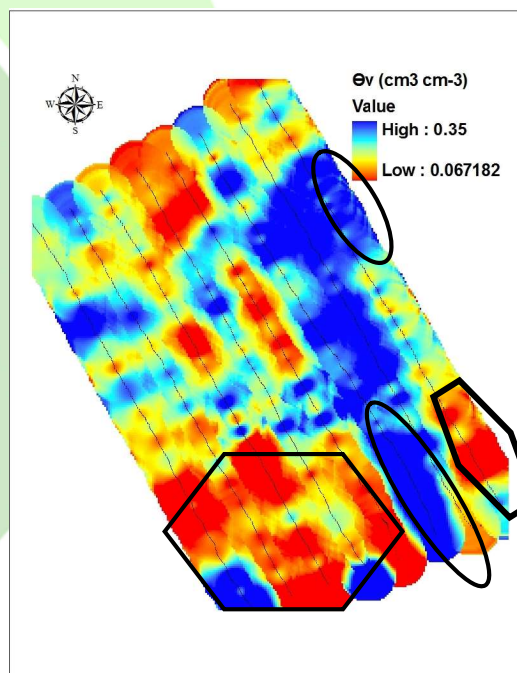
۳- در ناحیه‌ای که با بیضی کوچک نشان داده شده،  $EC_a$  بالا بوده که با توجه به نقشه رطوبت با رطوبت بالا در همان ناحیه توجیه می‌شود. ولی نکته قابل تامل اینکه علی‌رغم بالا بودن رطوبت در این ناحیه  $PR$  نیز مقادیر نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد. اساساً  $PR$  نابعی از رطوبت، چگالی ظاهری و بافت بوده لذا در این ناحیه احتمالاً خصوصیات دیگر خاک غیر از رطوبت بر  $PR$  اثرگذار بوده است.



ب



الف



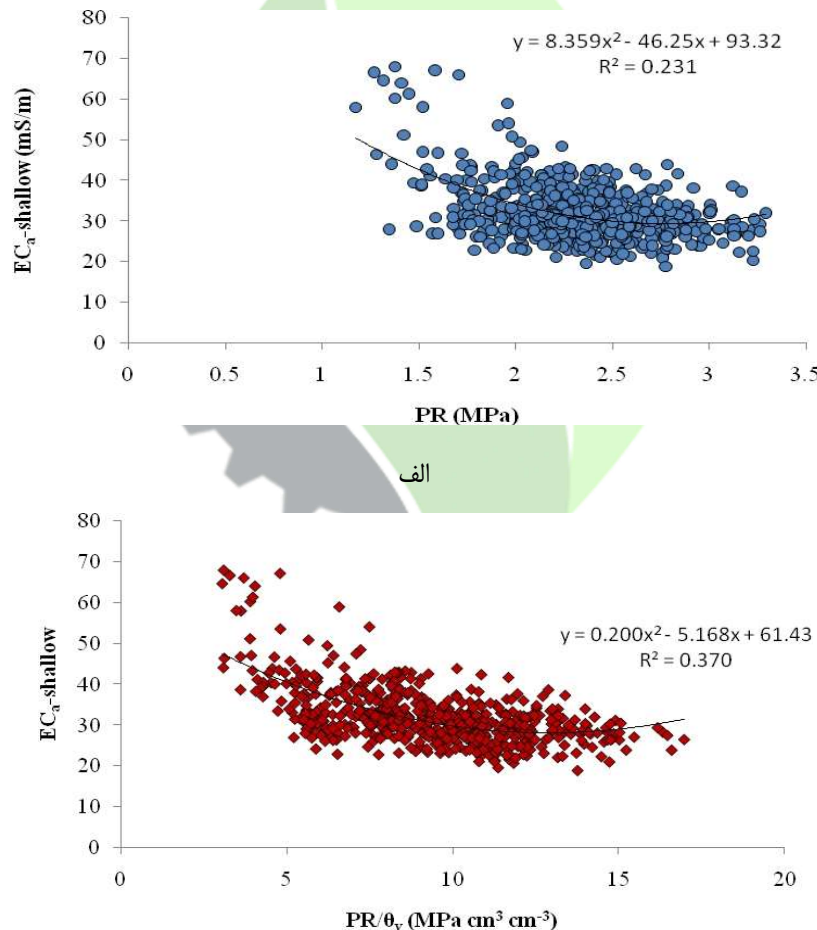
ج

شکل ۴. نقشه های مزرعه ای الف- PR، ب-  $EC_a$  و ج-  $\theta_v$



### ارتباط بین $EC_a$ و برخی خصوصیات/پارامترهای خاک

شکل ۵ - الف یک ارتباط منفی معنی دار بین  $EC_a$  و PR را نشان می دهد که با افزایش هدایت الکتریکی PR کاهش یافته است. با این حال، این می تواند به خاطر اثر متقابل رطوبت باشد که با افزایش رطوبت، هدایت الکتریکی افزایش یافته و PR کاهش می یابد. یک ارتباط معنی دار قوی تر نیز بین  $EC_a$  و  $PR/\theta_v$  همانطور که در شکل ۵ - ب نشان داده شده مشاهده شد. نادری بلداجی و همکاران (Naderi-Boldaji *et al.*, 2012 and 2013) پارامتر  $PR/\theta_v$  را بعنوان یک پارامتر مستقل از رطوبت استحکام خاک معرفی کردند. ارتباط نشان داده شده در شکل ۵ - ب بیانگر این حقیقت می باشد که  $EC_a$  پتانسیل نسبتاً خوبی در توجیه تغییرات  $PR/\theta_v$  دارد. با این حال پراکندگی نسبتاً زیاد در این شکل حاکی از اثرات دیگر خصوصیات خاک بر  $EC_a$  بوده چرا که این پارامتر تابعی ترکیبی از خصوصیات فیزیکی خاک می باشد.

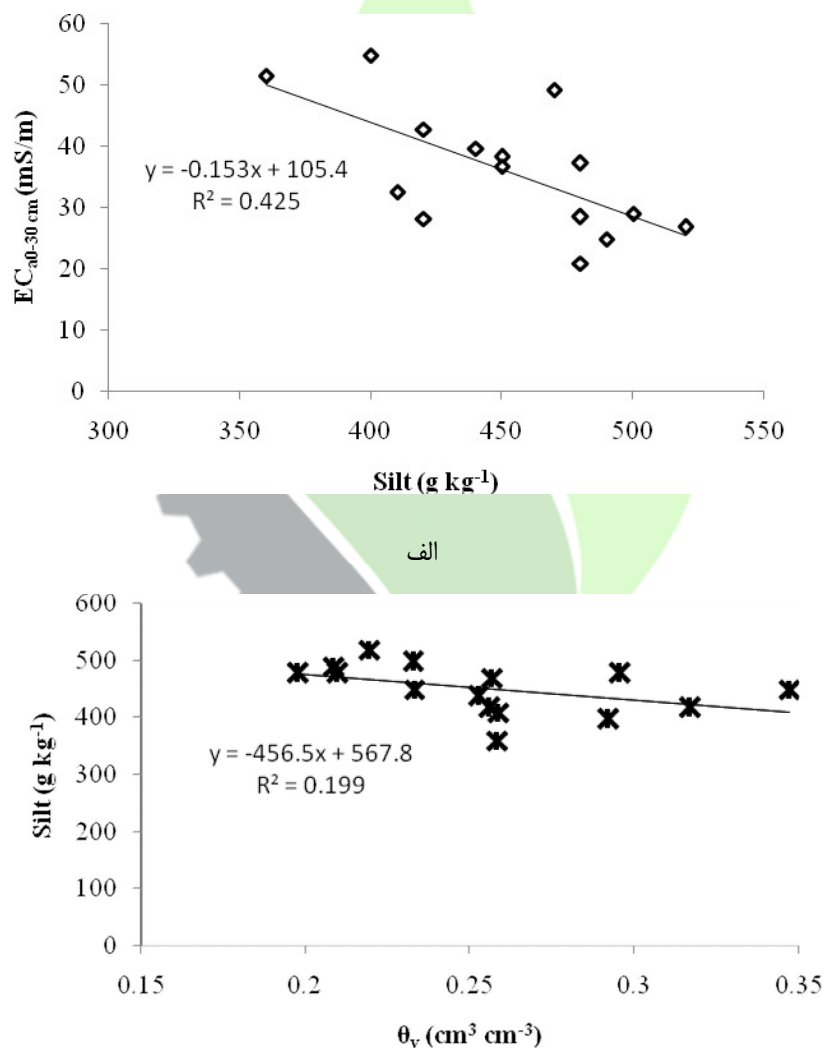


ب

شکل ۵. الف- ارتباط  $EC_a$  و PR و ب- ارتباط  $EC_a$  و  $PR/\theta_v$  (داده ها مربوط به اندازه گیری های مزرعه ای با حسگرها می باشد).



شکل ۶ الف نشان دهنده یک ارتباط قوی بین  $EC_a$  و محتوای سیلت خاک می باشد. این در حالی است که هیچ همبستگی معنی داری بین  $EC_a$  و محتوای رس یافت نشد. لذا تغییرات بافت خاک یک عامل مهم در توجیه تغییرات  $EC_a$  بوده و اینکه استفاده از این پارامتر برای تهیه نقشه های فشرده گی/استحکام خاک در صورتی امکان پذیر خواهد بود که تغییرات بافت در مزرعه اتفاق نیفتد که البته اغلب اجتناب ناپذیر است. البته شایان ذکر است که یک بخش از این ارتباط بین  $EC_a$  و محتوای سیلت می تواند بخاطر اثر متقابل رطوبت همانطور که در شکل ۶-ب نشان داده شده می باشد. که با کاهش محتوای سیلت رطوبت افزایش یافته است. در واقع مقداری از کاهش محتوای سیلت با افزایش رس همراه بوده که بخاطر افزایش سطح ویژه، ظرفیت نگهداری آب را در خاک افزایش می دهد.

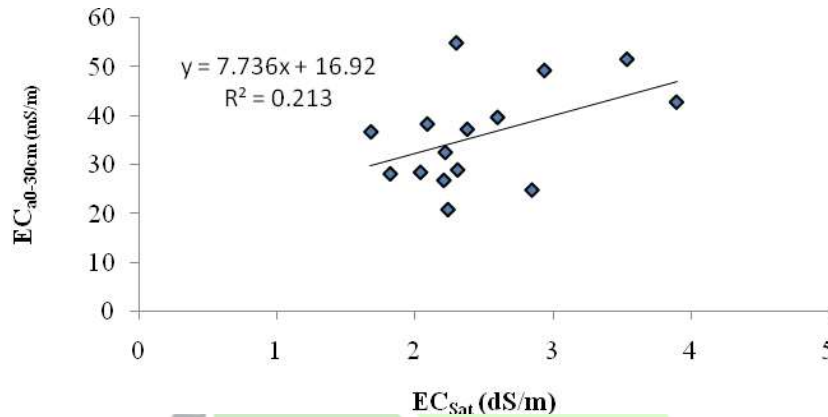


ب

شکل ۶. الف- ارتباط  $EC_a$  و محتوای سیلت خاک و ب- ارتباط  $\theta_v$  و محتوای سیلت



همچنین یک ارتباط مثبت معنی دار بین هدایت الکتریکی گل اشباع (بیانگر شوری واقعی خاک) و  $EC_a$  همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده مشاهده شد (این همبستگی در سطح اطمینان ۹۰٪ معنی دار می باشد). هدایت الکتریکی ظاهری اساساً برای اندازه گیری شوری خاک بکار می رود و در صورت بکارگیری آن برای تهیه نقشه های فشردگی/استحکام خاک باید اثر تغییرات چنین پارامترهای تاثیرگذاری نیز جبران گردد.



شکل ۷. ارتباط بین  $EC_a$  و هدایت الکتریکی گل اشباع ( $EC_{Sat}$ )

لذا هدایت الکتریکی ظاهری تابعی ترکیبی از شوری، بافت و رطوبت و فشردگی خاک می باشد. مدل (۱) بعنوان بهترین مدل چند متغیره خطی برای توجیه تغییرات  $EC_{a0-30}$  در نرم افزار SAS به دست آمد. این مدل تابعی از چگالی ظاهری خشک ( $\rho_d$ )، هدایت الکتریکی گل اشباع ( $EC_{Sat}$ )، محتوای سیلت (Silt) و رطوبت حجمی خاک ( $\theta_v$ ) می باشد.

$$EC_a = 131.414 (\pm 63.93) - 74.05 (\pm 37.55) \rho_d + 7.24 (\pm 3.49) EC_{Sat} - 0.063 (\pm 0.054) \text{Silt} + 115 (\pm 54.53) \theta_v$$

$$R^2_{Adj} = 0.57, RMSE = 21.1 \text{ mS m}^{-1} \quad (1)$$

بر خلاف انتظار هیچ همبستگی معنی داری بین  $EC_a$  و  $\rho_d$  مشاهده نشد. با این حال در ترکیب با دیگر متغیرها تنها مدل معنی دار در سطح اطمینان ۹۰٪ برای پیش بینی  $\rho_d$  به شکل رابطه (۲) حاصل شد.

$$\rho_d = 1.50 (\pm 0.076) - 0.0024 (\pm 0.001) EC_a + 0.50 (\pm 0.32) \theta_v \quad (2)$$

$$R^2_{Adj} = 0.136 \quad RMSE = 0.045 \text{ Mg m}^{-3}$$

تنها مدل معنی دار برای پیش بینی  $PR/\theta_v$  بعنوان تابعی از  $EC_a$  و محتوای مواد ارگانیک (OM) همانطور که در رابطه (۳) داده شده به دست آمد.

$$\frac{PR}{\theta_v} = 18.42 (\pm 2.46) - 0.147 (\pm 0.05) EC_a - 0.23 (\pm 0.01) OM$$

$$R_{Adj}^2 = 0.43 \quad RMSE = 6.73 \text{ MPa cm}^{-3} \text{ cm}^3 \quad (3)$$

### نتیجه گیری

در این تحقیق امکان بکارگیری حسگر در حال حرکت هدایت الکتریکی ظاهری Veris 3100 بمنظور ارتباط با وضعیت استحکام/فشرده‌گی خاک بررسی شد. نتایج آزمون های مزرعه ای نشان دادند که چگالی ظاهری خشک ارتباط معنی داری با هدایت الکتریکی ظاهری نداشت. با این حال یک ارتباط نسبتاً قوی بین پارامتر  $PR/\theta_v$  و هدایت الکتریکی مشاهده شد که بیانگر پتانسیل حسگر Veris 3100 جهت تشخیص نواحی فشرده در مزرعه می باشد. بدین منظور آزمایش های مزرعه ای بیشتر و دقیق تر توصیه می گردد.

### تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج (AERI) می باشد. از کمک های مالی و فنی موسسه تحقیقات سپاسگزاری می شود. از کمک های بی دریغ آقایان مهندس حسین سراج و مهدی نظیری در آزمایشگاه دینامیک خاک موسسه قدردانی می شود.

## منابع

- 1- Corwin, D.L., and S.M. Lesch. 2005. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. Survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 103-133.
- 2- Corwin, D.L., S.M. Lesch, P.J. Shouse, R. Soppe, and J.E. Ayars. 2003. Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. *Agronomy Journal* 95 (2): 352– 364.
- 3- Garner, T.H., A. Khalilian, and M.G. Sullivan. 1989. Deep tillage for cotton in coastal plain soils-costs/returns. In the proceeding of Beltwide cotton production research conferences, pp. 465-466, January 4-9, 1989, Las Vegas, Nevada.
- 4- Gill, W.R., and G.E. Vanden Berg. 1968. *Soil Dynamics in Tillage and Traction*, Agricultural Handbook No. 316. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture.
- 5- Hemmat, A., and V.I. Adamchuk. 2008. Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* 63: 89–103.
- 6- Jabro, J.D., R.G. Evans, Y. Kim, W.B. Stevens, and W.M. Iversen. 2005. Spatial variability of the apparent electrical conductivity and cone index as measured with sensing technologies: assessment and comparison. ASABE Pacific Northwest Section Meeting, Lethbridge, Alberta, Canada, September 22-24, 2005. Paper PNW05-1017.
- 7- Johnson, C.E., and A.C. Bailey. 2002. Soil compaction. *Advance in Soil Dynamics*, vol. 2. ASABE, St. Joseph, MI, pp. 155–178.
- 8- Khalilian, A., M. Jones, M. Sullivan, J. Frederick. 2004. Comparison of strip tillage system in coastal plain soils for cotton production. In the proceedings of the Beltwide cotton conferences, National Cotton Council of America, Memphis, TN.
- 9- Naderi-Boldaji, M., R. Alimardani, A. Hemmat, A. Sharifi, A. Keyhani, N. Dolatsha and T. Keller. 2012. Improvement and field testing of a combined horizontal penetrometer for on-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance. *Soil and Tillage Research* 123: 1-10.
- 10- Naderi-Boldaji, M., A. Sharifi, R. Alimardani, A. Hemmat, A. Keyhani, E.H. Loonstra, P. Weisskopf, M. Stettler, and T. Keller. 2013. Use of a triple-sensor fusion system for on-the-go measurement of soil compaction. *Soil and Tillage Research* 128: 44-53.
- 11- Quraishi, M.Z., and A.M. Mouazen. 2013. Calibration of an on-line sensor for measurement of topsoil bulk density in all soil textures. *Soil and Tillage Research* 126: 219-228.
- 12- Seladji, S., P. Cosenza, A. Tabbagh, J. Ranger, and G. Richard. 2010. The effect of compaction on soil electrical resistivity: a laboratory investigation. *European Journal of Soil Science* 61(6): 1043-1055.
- 13- Siqueira, G.M., J.D. Dafonte, J.B. Lema, and A.P. González. 2010. Correlation between soil resistance penetration and soil electrical conductivity using soil sampling schemes. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- 15-SSSA (Soil Science Society of America). 1996. Glossary of Soil Science Terms. SSSA, Madison, WI, USA.
- 16-Sun, Y., H. Druecker, E. Hartung, H. Hueging, Q. Cheng, Q. Zeng, W. Sheng, J. Lin, O. Roller, S. Paetzold, and P. Schulze Lammers. 2011. Map-based investigation of soil physical conditions and crop yield using diverse sensor techniques. *Soil and Tillage Research* 112: 149-158.



## Investigation of using electrical conductivity sensor Veris 3100 for field mapping of soil strength/compaction

M. Naderi-Boldaji<sup>1\*</sup> A. Sharifi<sup>2</sup> A. Hemmat<sup>3</sup> R. Alimardani<sup>4</sup> T. Keller<sup>5</sup>

1- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University  
m.naderi@ut.ac.ir

2- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Research, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Karaj, Iran

3- Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4-Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

5-Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Department of Natural Resources & Agriculture, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zurich, Switzerland

### Abstract

Soil compaction is one of the current serious issues in managing agricultural systems as it restricts plant root growth and consequently crop yield. Increasing use of heavy field machines and heavier tire traffic on the soil particularly in unsuitable conditions has increased the risk of soil compaction. With advances in technology of precision agriculture, numerous attempts have been made towards development of on-the-go sensors for measuring soil compaction. Most of the on-the-go sensors developed so far for soil compaction have been mechanical sensors measuring the cutting or penetration resistance of a mechanical tool as a parameter related to the state of soil compactness. In this study, a commercial electrical conductivity sensor (Veris 3100) in combination with a previously developed combined horizontal penetrometer (equipped with a dielectric sensor for soil water content) was tested in a field in order to examine the possibility of relating apparent electrical conductivity ( $EC_a$ ) within 0-30 cm depth to some soil physical characteristics and horizontal penetrometer resistance (PR) and soil volumetric water content ( $\theta_v$ ). Field mappings of PR,  $EC_a$  and  $\theta_v$  showed relevant patterns which is representative of the potential of using EC sensor for delineating compaction management zones. The variations in EC were investigated with respect to some soil physical characteristics including texture, water content and bulk density.

**Keywords:** On-the-go sensors, Soil compaction, Precision agriculture, Apparent electrical conductivity.