



## ساخت و ارزیابی حسگر القای الکترومغناطیسی در دو حالت افقی و عمودی به منظور بررسی اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک

محمد مهاجران<sup>۱</sup>، محمودرضا گلزاریان<sup>۲\*</sup>، مهدی خجسته پور<sup>۳</sup>

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون، استادیار و دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی فردوسی

مشهد

ایمیل مکاتبه کننده: [m.golzarian@um.ac.ir](mailto:m.golzarian@um.ac.ir)

### چکیده

اندازه‌گیری مقاومت زمین به منظور نقشه‌برداری زمین‌شناسی به مدت نیم قرن است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. به خاطر سرعت بالا و سهولت در استفاده، هزینه‌ی نسبتاً پایین و حجم وسیع داده‌ی جمع‌آوری شده، القای الکترومغناطیسی نسبت به روش‌های سنتی به منظور جمع‌آوری اطلاعات خاک دارای مزیت می‌باشد. حسگرهای القای الکترومغناطیسی تغییرات را در هدایت الکتریکی ظاهری لایه‌ی بالایی خاک بدون تماس با خاک اندازه‌گیری می‌کنند. به منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک و بررسی رابطه‌ی بین نحوه‌ی قرار دادن سیم‌پیچ‌ها نسبت به سطح زمین با هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده، حسگر القای الکترومغناطیسی در گروه بیوسیستم دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد توسعه یافت. پس از ساخت حسگر القای الکترومغناطیسی، آزمون عملی در زمینی زراعی به مساحت ۵۰۰ مترمربع در شهرستان بجنورد انجام شد. پس از انجام محاسبات و رسم نمودارهای مرتبط، نتایج نشان داد که سیم‌پیچ‌ها در حالت افقی حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات ولتاژ از خود نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: القای الکترومغناطیسی، نقشه‌برداری خاک، هدایت الکتریکی، مشخصه‌های خاک

### مقدمه

بکارگیری روش‌های دقیق و مؤثر به منظور اندازه‌گیری تغییرات در مشخصه‌های خاک در کشاورزی دقیق از اهمیت بالایی برخوردار است. هدایت الکتریکی ظاهری خاک یک پارامتر مبتنی بر حسگر بوده که اندازه‌گیری آن اطلاعات مهمی از مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به صورت غیرمستقیم در اختیار قرار می‌دهد. عوامل مؤثر بر هدایت الکتریکی شامل: شوری خاک، مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی<sup>۴</sup> (CEC)، اندازه ذرات خخل و فرج، مقدار رطوبت خاک، و دما می‌باشد [شیتز و هنریکس، ۱۹۹۵]. اندازه‌گیری مقاومت زمین به منظور نقشه‌برداری زمین‌شناسی به مدت نیم قرن است که مورد استفاده قرار می‌گیرد [مکنیل، ۱۹۸۰]. القای الکترومغناطیسی (Electromagnetic Induction) به طور وسیعی توسط

<sup>4</sup> Cation exchange capacity



مهندسی علوم خاک به منظور درک بهتر از تغییرپذیری فضایی خاک‌ها و نیز مشخصه‌های خاک در مقیاس مزرعه و landscape مورد استفاده قرار می‌گیرد [کروین، ۲۰۰۸]. به خاطر سرعت بالا و سهولت در استفاده، هزینه نسبتاً پایین و حجم وسیع داده جمع‌آوری شده، القای الکترومغناطیسی نسبت به روش‌های سنتی مورد استفاده به منظور جمع‌آوری اطلاعات خاک دارای مزیت می‌باشد. القای الکترومغناطیسی روشی جدید به منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بوده که غیرمخرب<sup>۵</sup> و غیرتهاجمی<sup>۶</sup> می‌باشد [جانگ و همکاران، ۱۹۷۹].

#### تاریخچه

اولین بار القای الکترومغناطیسی در کشاورزی به منظور ارزیابی شوری خاک مورد استفاده قرار گرفت [میرولد و مک‌دونل، ۲۰۰۹، ولر و همکاران، ۲۰۰۷]. در سال ۱۹۷۶ شرکت جئونیکس دستگاه EM31 را طراحی و ساخت. فاصله بین سیم‌پیچ‌ها ۳٫۶۶ متر بود و دستگاه در فرکانس ۹٫۸ کیلوهرتز عمل می‌کرد [دولتیل و بریویک، ۲۰۱۴]. در اواخر دهه ۸۰ میلادی، برای اولین بار دیتالاگرها<sup>۷</sup> در کنار دستگاه‌های القای الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار گرفتند. در اواسط تا اواخر دهه ۹۰ میلادی، استفاده از فناوری GPS<sup>۸</sup> و ترکیب آن با حسگرهای القای الکترومغناطیسی انقلابی را در جمع‌آوری داده به وجود آورد. ترکیب این فناوری‌ها منجر به این شد که نمونه برداری‌ها با سرعت بالا به صورت پیوسته و در حین حرکت<sup>۹</sup> انجام شد.



شکل ۱- دستگاه EM-31 [دولتیل و بریویک ۲۰۱۴]

در سال ۲۰۰۸ نیز شرکت جئونیکس کانادا مدل EM38-MK2 را که در فرکانس ۱۴٫۶ کیلوهرتز عمل می‌کند را توسعه داد. این دستگاه شامل یک سیم‌پیچ فرستنده و دو سیم‌پیچ گیرنده می‌باشد که به ترتیب ۰٫۵ و یک متر از سیم‌پیچ فرستنده فاصله دارند. حسگرهای القای الکترومغناطیسی موجود به منظور مطالعات خاک مناسب می‌باشند. در آینده استفاده‌ی گسترده از

<sup>5</sup> Nondestructive

<sup>6</sup> Noninvasive

<sup>7</sup> Data logger

<sup>8</sup> Global positioning system

<sup>9</sup> On-the-go



حسگرهای چند فرکانسی و چند سیم‌پیچ و ترکیبات مختلفی از این تجهیزات ارزیابی مشخصه‌های خاک را به صورت مؤثرتری در پی خواهد داشت.

### تئوری اندازه‌گیری توسط حسگر EMI

این حسگر شامل یک سیم‌پیچ فرستنده است که حلقه‌های جریان گردابی را در داخل خاک القا کرده که اندازه این حلقه‌های القا شده با هدایت الکتریکی در مجاورت حلقه متناسب می‌باشد. هر حلقه‌ی جریان یک میدان الکترومغناطیسی ثانویه تولید می‌کند که با اندازه جریان گذرا از حلقه متناسب می‌باشد. بخشی از میدان الکترومغناطیسی القا شده از هر حلقه توسط سیم-پیچ گیرنده دریافت می‌شود و مجموع این سیگنال‌ها تقویت شده و به شکل ولتاژ خروجی که با هدایت الکتریکی متناسب است تبدیل می‌شود. اندازه و فاز میدان ثانویه نسبت به میدان اولیه به دلیل مشخصه‌های خاک، فاصله بین سیم‌پیچ‌ها و جهت آن‌ها، فرکانس، و فاصله از سطح خاک تغییر خواهد کرد [کروین و لچ، ۲۰۰۵، لچ و کروین، ۲۰۰۳].



شکل ۲- دستگاه EMP-400 مجهز به GPS [دولتیل و بریویک، ۲۰۱۴]

### کاربردها

در مناطق با خاک شور، در میان تمامی مشخصه‌های فیزیوشیمیایی که بر هدایت الکتریکی ظاهری تأثیر می‌گذارند، غلظت نمک‌های محلول بیشترین عامل مؤثر می‌باشد [جیمز و همکاران، ۲۰۰۳، ویلیامز و همکاران، ۲۰۰۶]. مطالعات تایید کرده که القای الکترومغناطیسی تخمین دقیقی از شوری خاک را در مقیاس مزرعه‌ای فراهم می‌کند. در کشور ایران نیز از دستگاه القاگر الکترومغناطیسی به منظور پایش شوری خاک مورد استفاده قرار گرفت [بنادکی و همکاران ۱۳۹۲، رحیمیان و هاشمی‌نژاد، ۱۳۸۹]. از دیگر کاربردهای روش القای الکترومغناطیسی می‌توان به اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک [کاجانوسکی و همکاران، ۱۹۹۰، خاکورال و همکاران، ۱۹۹۸]، بافت خاک [هاروی و مورگان، ۲۰۰۹، کاجانوسکی و همکاران، ۱۹۸۸]، مقدار رس موجود در خاک [کاکس و همکاران، ۲۰۰۹، جانستون و همکاران، ۱۹۹۷] و فشردگی خاک [القادی، ۲۰۱۲] اشاره کرد.

### انواع حسگرهای اندازه‌گیری

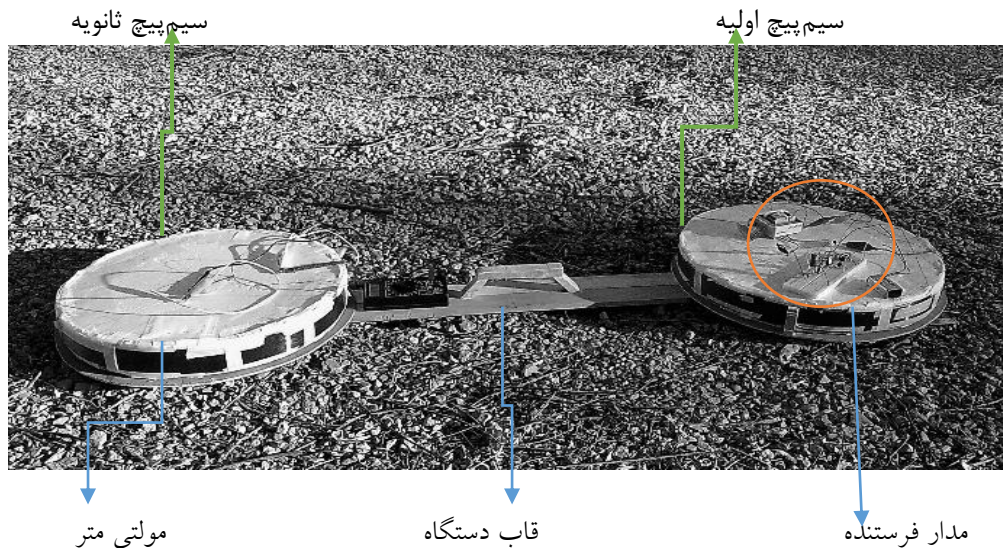
حسگرهای القای الکترومغناطیسی رایج مورد استفاده در کشاورزی و مطالعات خاک به شرح زیر می‌باشند:



پیشرفت‌های اخیر در تجهیزات و نیز در ترکیب با فناوری‌هایی چون: سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، نرم‌افزار پردازش داده، و برنامه‌های نقشه‌برداری سطح، استفاده از القای الکترومغناطیسی را در کاربردهای خاک ترویج داده است. حسگرهای القای الکترومغناطیسی تغییرات را در هدایت الکتریکی ظاهری لایه بالایی خاک بدون تماس با خاک اندازه‌گیری می‌کنند. هر کدام از حسگرهای ذکر شده در قسمت بالا دارای معایب و مزایایی می‌باشند [دولتیل و بریویک، ۲۰۱۴]. مقایسه‌ی انجام شده بین حسگرهای مختلف نشان می‌دهد که بین داده‌های جمع‌آوری شده و هدایت الکتریکی تشابه زیادی وجود دارد [شیتز و هنریکس، ۱۹۹۵]. اختلافاتی که بین داده‌ی جمع‌آوری شده وجود دارد به علت عمق کاری حسگرها و نیز حالت جمع‌آوری داده (فاصله‌ی بین سیم‌پیچ‌ها و یا جهت سیم‌پیچ‌ها) می‌باشد. از حسگرهای مختلف ذکر شده در قسمت بالا دو مدل EM-31 و EM-38 دارای بیشترین کاربرد در مطالعات خاک می‌باشند. از آنجاییکه EM-38 دارای عمق اندازه‌گیری ناحیه‌ی ریشه‌ی گیاه (۱,۵ متر) در حالت عمودی می‌باشد، در کشاورزی از کاربرد بیشتری برخوردار است [کروین و لچ، ۲۰۰۵]. در کشور ایران نیز یک نمونه حسگر القای الکترومغناطیسی غیرتماسی به منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک توسعه یافت [خراسانی فردوانی و مسعودی، ۱۳۹۱].

### ساخت حسگر القای الکترومغناطیسی

به منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک و بررسی رابطه‌ی بین نحوه‌ی قرار دادن سیم‌پیچ‌ها نسبت به سطح زمین با هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده، حسگر القای الکترومغناطیسی در گروه بیوسیستم دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد توسعه یافت.



شکل ۳- نمایی از حسگر القای الکترومغناطیسی ساخته شده

ساخت این حسگر در دو بخش الکترونیکی و مکانیکی تقسیم‌بندی می‌شود. بخش الکترونیکی شامل: منبع تغذیه ۹ ولتی، مدار نوسان‌کننده‌ی سیم‌پیچ اولیه (مدار نوسان‌کننده IC555)، تقویت‌کننده ولتاژ و جریان، سیم‌پیچ فرستنده (اولیه)، سیم‌پیچ گیرنده (ثانویه) و مولتی متر به منظور اندازه‌گیری ولتاژ خروجی متصل به سیم‌پیچ گیرنده، می‌باشد. بعد مکانیکی دستگاه دارای یک قاب از جنس چوب بوده که بر روی نوسانات سیم‌پیچ‌ها تأثیری ندارد. تمامی مدارات و سیم‌پیچ‌ها بر روی قاب



قرار می‌گیرند که اندازه‌گیری در حین حرکت را برای اپراتور ممکن می‌سازد. این حسگر در فرکانس ۱۸,۷۴ کیلوهرتز عمل می‌کند. اندازه‌گیری میدان اولیه در سیم پیچ ثانویه با توجه به معادلات ۱ و ۲ محاسبه می‌شود:

$$(B_p)_h = B_0 \frac{1}{\pi\sqrt{Q}} \left[ E(k) \frac{1-\alpha^2-\beta^2}{Q-4\alpha} + K(k) \right] \quad (1)$$

$$(B_p)_v = B_0 \frac{\gamma}{\pi\sqrt{Q}} \left[ E(k) \frac{1+\alpha^2+\beta^2}{Q-4\alpha} - K(k) \right] \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{r}{a}, \beta = \frac{x}{a}, \gamma = \frac{x}{r}, Q = [(1+\alpha)^2 + \beta^2] \quad k = \sqrt{\frac{4\alpha}{Q}}$$

فاصله بین سیم پیچ اولیه و ثانویه در حالت افقی بر حسب متر =  $x$

شعاع سیم پیچ‌ها بر حسب متر =  $a$  فاصله بین سیم پیچ اولیه و ثانویه در حالت عمودی بر حسب متر =  $r$

میدان اولیه در سیم پیچ ثانویه در حالت افقی بر حسب تسلا =  $(B_p)_h$

انتگرال تابع بیضوی کامل نوع دوم =  $E(k)$  میدان اولیه در سیم پیچ ثانویه در حالت عمودی بر حسب تسلا =  $(B_p)_v$

میدان مغناطیسی در مرکز سیم پیچ بر حسب تسلا =  $B_0 = \frac{i\mu_0}{2a}$  انتگرال تابع بیضوی کامل نوع اول =  $K(k)$

ثابت گذردهی خلأ  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$

از معادلات بالا میدان اولیه به ازای یک دور سیم پیچ محاسبه می‌شود. برای محاسبه‌ی میدان یک سیم پیچ کامل بایستی در تعداد دور سیم پیچ اولیه که ۳۷۰ دور می‌باشد ضرب شود. از معادله‌ی ۳ به منظور اندازه‌گیری میدان ثانویه در حالت افقی و عمودی استفاده می‌شود:

$$B_s = \frac{V_s}{\omega NA} \quad (3)$$

ولتاژ ثانویه بر حسب ولت =  $V_s = \omega$  میدان ثانویه در دو حالت افقی و عمودی بر حسب تسلا =  $B_s$

مساحت سیم پیچ ثانویه بر حسب مترمربع =  $A$  تعداد دور سیم پیچ ثانویه =  $N$  فرکانس بر حسب هرتز =  $f$

از معادله ۴ [مکنیل، ۱۹۸۰] به منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در سطح مزرعه استفاده می‌شود:

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 S^2} \left( \frac{B_s}{B_p} \right) \quad (4)$$

هدایت الکتریکی ظاهری بر حسب زیمنس بر متر =  $\sigma_a$

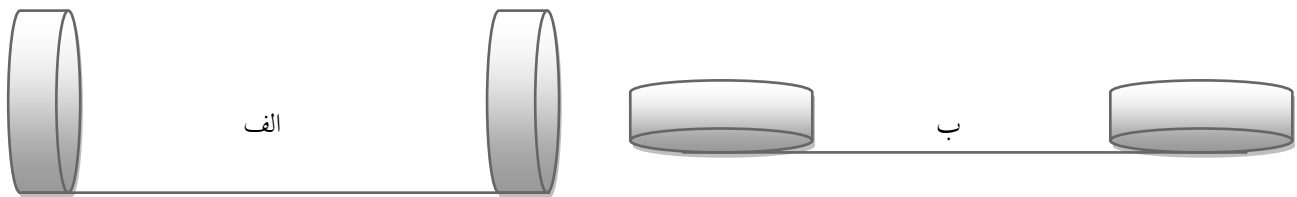
فاصله بین سیم پیچ اولیه و ثانویه بر حسب متر =  $S$

### آزمون عملی در سطح مزرعه

آزمون عملی حسگر القای الکترومغناطیسی در زمینی زراعی به مساحت ۵۰۰ مترمربع در شهرستان بجنورد با مختصات جغرافیایی:  $37^{\circ}29'28.15''N$   $57^{\circ}26'17.57''E$  انجام شد. در این آزمون قصد داریم تأثیر نحوه‌ی قرار دادن سیم پیچ‌ها نسبت به سطح زمین بر هدایت الکتریکی ظاهری را مورد ارزیابی قرار دهیم. به منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک توسط حسگر القای الکترومغناطیسی نیاز به اندازه‌گیری ولتاژ خروجی از سیم پیچ گیرنده می‌باشد. این حسگر در دو حالت افقی (محور سیم پیچ موازی با سطح زمین) و عمودی (محور سیم پیچ عمود بر سطح زمین) مورد آزمایش قرار گرفت.



( خطوط در شکل نشان‌دهنده‌ی سطح زمین می‌باشد.)



شکل ۴- آرایش سیم‌پیچ‌ها نسبت به زمین: الف) افقی ب) عمودی

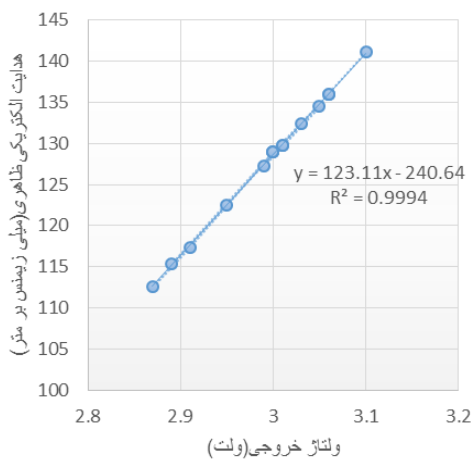
فاصله‌ی بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه در هر دو حالت ۰,۹ متر می‌باشد. این سیم‌پیچ‌ها دارای شعاع ۰,۲ متر و تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه به ترتیب ۳۷۰ و ۳۹۰ دور می‌باشد. پس از اینکه اندازه‌گیری ولتاژ در سطح مزرعه در این دو حال انجام شد، مقادیر بدست آمده‌ی ولتاژ ثانویه را در معادله (۳) قرار داده و مقدار میدان مغناطیسی ثانویه را بر حسب تسلا محاسبه می‌نماییم. مقدار میدان مغناطیسی سیم‌پیچ اولیه در محل سیم‌پیچ ثانویه نیز در دو حالت افقی و عمودی به ترتیب بر اساس معادلات (۱) و (۲) محاسبه می‌شود. پس از محاسبه‌ی میدان مغناطیسی اولیه و ثانویه و قرار دادن آن‌ها در معادله‌ی (۴) مقدار هدایت الکتریکی ظاهری خاک محاسبه می‌شود.

#### نتایج و بحث

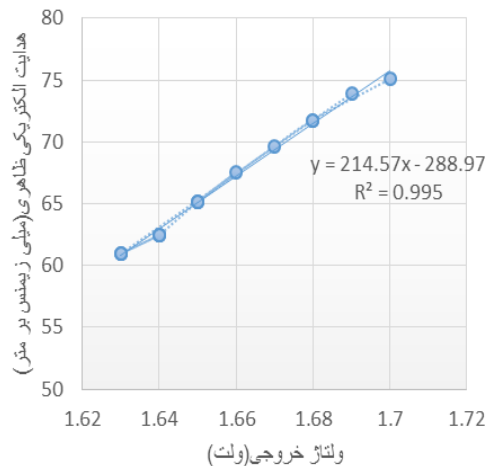
پس از انجام محاسبات و بدست آوردن مقادیر ولتاژ و هدایت الکتریکی ظاهری نمودار ولتاژ-هدایت الکتریکی برای دو حالت افقی و عمودی رسم شد. نمودارهای بدست آمده نشان داد که چنانچه سیم‌پیچ‌ها به حالت افقی قرار بگیرند حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات ولتاژ از خود نشان می‌دهند و نیز پیوستگی بیشتری بین مقادیر اندازه‌گیری شده وجود دارد. در محاسبات انجام شده هدایت الکتریکی ظاهری در حالت افقی نسبت به حالت عمودی دارای مقادیر بیشتری بود. این اختلاف بدست آمده ناشی از این است که در حالت افقی سیم‌پیچ اولیه سطح بیشتری از لایه‌ی بالایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد که همین امر باعث افزایش در میزان ولتاژ اندازه‌گیری شده و در نتیجه در مقدار هدایت الکتریکی ظاهری خواهد شد.



نمودار ۲- ولتاژ ثانویه- هدایت الکتریکی برای حالت افقی



نمودار ۱- ولتاژ ثانویه- هدایت الکتریکی برای حالت عمودی



### نتیجه گیری

امروزه روش القای الکترومغناطیسی به عنوان ابزار مؤثر و مفیدی در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری در کنار سایر فناوری‌های موجود مانند GPS می‌تواند مؤثرتر واقع شود. جمع‌آوری داده به روش القای الکترومغناطیسی نسبت به روش سنتی از سهولت، دقت و سرعت بیشتری برخوردار می‌باشد. علاوه بر این، روش القای الکترومغناطیسی غیرمخرب و غیرتهاجمی نیز می‌باشد. مقایسه‌ی نحوه‌ی قرارگیری سیم پیچ‌ها در دو حالت افقی و عمودی نشان داد که اگر سیم پیچ به شکل افقی قرار بگیرد حساسیت بیشتری از خود نسبت به تغییرات در زمین نشان می‌دهد. این امر باعث می‌شود تا در لایه‌ی سطحی خاک بتوان هدایت الکتریکی را با دقت بیشتری اندازه‌گیری نمود. از آنجاییکه مقادیر بدست آمده برای هدایت الکتریکی بالا بود بایستی خاک منطقه در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان به درستی مقادیر بدست آمده را در ارتباط با مشخصه‌ها تجزیه و تحلیل نمود. در این آزمون ارتباط بین نحوه‌ی قرارگیری سیم پیچ‌ها نسبت به زمین با هدایت الکتریکی ظاهری خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که دستگاه ساخته شده در ارتباط با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دقت بالایی برخوردار می‌باشد.

### منابع

۱. بنادکی، م. ک. د. و همکاران، واسنجی دستگاه EM38 برای ارزیابی شوری خاک در دشت فهرج، همایش کاربرد علوم و فناوری‌های نوین در کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳۹۲: دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.
۲. خراسانی فردوانی، م. ا، مسعودی، ح، توسعه یک نمونه حسگر الکترومغناطیسی غیر تماسی برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک در حین حرکت، هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه شیراز، شهریور ۱۳۹۱.



۳. رحیمیان، م.ح و هاشمی نژاد، ی. واسنجی دستگاه القاگر الکترومغناطیس (EM38) برای ارزیابی شوری خاک، مجله پژوهش های خاک، الف، ج ۲۴، ۳، ۱۳۸۹.

4. A.Doolittle, J. and E. C.Brevik, The use of electromagnetic induction techniques in soils studies Geoderma 2014: p. 13.
5. Al-gaadi, K.A., Employing electromagnetic induction technique for the assessment of soil compaction American Journal of Agriculture and Biological Science 2012. Vol 7(4): p. 425-434.
6. B.Williams, J.Walker, and J.Anderson, spatial variability of regolith leaching and salinity in relation to whole Farm Planning Australian Journal of Experimental Agriculture 2006. Vol 10 1271-1277.
7. Cockx, L., et al., Extracting Topsoil Information from EM38DD Sensor Data using a Neural Network . Soil Sci. Soc. Am. J., 2009. Vol 73(6): p. 2051-2058.
8. Corwin, D.L. and S.M. Lesch, Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture Computers and Electronics in agriculture 2005. Vol 46: p. 11-43.
9. De Jong, E., et al., Measurement of Apparent Electrical Conductivity of Soils by an Electromagnetic Induction Probe to Aid Salinity Surveys1. Soil Sci. Soc. Am. J., 1979. Vol 43(4): p. 810-812.
10. Harvey, O.R. and C.L.S. Morgan, Predicting Regional-Scale Soil Variability using a Single Calibrated Apparent Soil Electrical Conductivity Model Soil Sci. Soc. Am. J., 2009(1) 73 p. 164-169.
11. James, I.T., et al., Derermination of soil type Boundaries using Electromagnetic Induction Scanning Techniques. Biosystem Engineering, 2003. Vol 86(4): p. 421-430.
12. Johnston, M.A., et al., Evaluation of Calibration Methods for Interpreting Soil Salinity from Electromagnetic Induction Measurements. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997. Vol 61(6): p. 1627-1633.
13. Kachanoski, R.G., I.J.V. Wesenbeeck, and E.D. Jong, Field scale patterns of soil water storage from noncontacting measurements of bulk electrical conductivity Canadian Journal of Soil Science, 1990. Vol 70: p. 537-542.
14. Kachanoski, R.G., I.J.V. wesenbeeck, and E.G. Gregorich, Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. Canadian Journal of Soil Science 1988. Vol 68: p. 715-722.
15. Khakural, B.R., P.C. Robert, and D.R. Hugins, Use of non-contacting electromagnetic inductive method for estimating soil moisture across a landscpae. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 1998. Vol 29(11-14): p. 2055-2065.
16. Lesch, S.M., Corwin .D.L. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. agronomy journal 2003. 95.
17. L.Corwin, D., past,present, and future trends of soil electrical conductivity measurement in Handbook of Agricultural Geophysics 2008. p. 17-44.
18. McNeill, J.D., Electromagnetic Terrain conductivity measurement at low induction numbers, in Technical Note TN-6, G. Limited, Editor. 1980: Canada.
19. Meerveld, H.J.T.-v. and J.J. McDonnell, Assessment of multi-frequency electromagnetic induction for determining soil moisture patterns at hillslope scale. Journal of Hydrology, 2009. Vol 368(1-4): p. 56-67.
20. R.Sheets, K. and J.M.H. Hendrickx, Noninvasive soil water content measurement using electromagnetic induction. Water Resources Research 1995. 31: p. 2401-2409.
- 21.Weller, U., et al., Mapping Clay Content across Boundaries at the Landscape Scale with Electromagnetic Induction. Soil Sci .Soc. Am. J. Vol 2007. 71(6): p. 1740-1747.





نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Development and evaluating of an Electromagnetic Induction sensor in both portrait and landscape modes for measuring the apparent soil electrical conductivity

### Abstract

Measuring field resistivity for the use in geological mapping has been applied for half a century. Electromagnetic induction are preferred over the traditional methods used for collecting soil data because of the ease of use, speed, low cost and large volumes of data collected. Application of accurate and efficient methods for measuring variability in soil characteristics is important in precision agriculture. EMI sensors measure the variations in apparent electrical conductivity in the top layer of soil without contact to it. Electromagnetic induction sensors measure variations in soil apparent conductivity in the upper layer of soil with no contact with it. In order to measure the electrical conductivity in soils and to evaluate the relationship between electrical conductivity coils placement arrangement with respect to the soil surface an electromagnetic induction sensor was developed at the department biosystems engineering, Ferdowsi University of Mashhad. After construction, the sensor was tested in an area of 500 square meters of agricultural land around the city of Bojnourd. the results of testing the prototype showed that the horizontal position of coil is more sensitive to voltage changes.

**Keywords:** Electromagnetic Induction, Soil mapping, Electrical Conductivity, Soil properties