ارزیابی رابطه بین هدایت الکتریکی ظاهری خاک و دیگر مشخصه های مهم خاک و موثر بر عملکرد محصول

محمدرضا سیفی[1]، کیوان آصف‌پور وکیلیان[2]، رضا علیمردانی[3]، احمد شریفی[4]

1- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

2- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه تهران

3- عضو هیئت علمی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

4- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی، مهندسی کشاورزی

mrseifi@ut.ac.ir

چکیده

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی یکی از سریعترین و ارزانترین روش های موجود برای استفاده در کشاورزی دقیق می‌باشد. الگوی هدایت الکتریکی خاک دارای ارتباط خوبی با دیگر خواص مهم خاک و مؤثر بر عملکرد محصول است . هدف این تحقیق ارزیابی رابطه بین هدایت االکتریکی ظاهری خاک و دیگر مشخصه های مهم خاک و موثر بر عملکرد محصول می باشد . بدین منظور دستگاه اندا زه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک در حین حرکت طراحی و ساخته شد . اندازه گیری با دستگاه ساخته شده در قطعه ای چهار هکتاری از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران انجام و با استفاده از نرم افزار ArcGIS نقشه هدایت الکتریکی ظاهری مزرعه رسم شد . 25 نمونه در عمق 30 سانتی‌متری از خاک مزرعه گرفته شد . با استفاده از روش درون‌یابی نرم افزار ArcGIS مقدار هدایت الکتریکی ظاهری در نقاطی که از آن‌ها نمونه‌گیری انجام شده تعیین گشت. پس از انجام نمونه گیری از مزرعه و انجام عملیات آزمایشگاهی و اندازه گیری پارامترهای مهم خاک و موثر بر عملکرد محصول، تاثیرگذارترین پارامترها بر هدایت الکتریکی ظاهری تعیین گردیدند . در آنالیزهای آماری ارتباط بین هدایت الکتریکی ظاهری خاک به دو فرم ساده و لگاریتمی با فرم ساده و لگاریتمی دیگر پارامترهای خاک ارزیابی شد . نتایج نشان داد که بیشترین تاثیر بر هدایت الکتریکی ظاهری را درصد رس و سیلت دارند . همچنین به دلیل وابستگی محتوای رطوبتی به بافت خاک، محتوای رطوبتی نیز با هدایت الکتریکی ظاهری مرتبط شد . چون خاک مزرعه دارای شوری کمی بود، هدایت الکتریکی ظاهری با مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع ارتباطی نشان نداد

کلمات کلیدی: الگوی تغییرات، کشاورزی دقیق، نمونه گیری هدفمند، هدایت الکتریکی ظاهری خاک.

مقدمه

کشاورزی، در تلاش برای تغذیه جمعیت جهان، اثرات زیان باری از طریق ایجاد کمبود در محیط زیست به بار آورده است. استفاده نادرست از آفت کش ها و علف کش ها باعث آلودگی منابع آب و خاک می گردد. قبل از سال 1990، استفاده از روش های نامناسب باعث آلودگی تقریباً پانصد و هفتاد میلیون هکتار از زمین های کشاورزی دنیا شده و از سال 1990 تاکنون سالانه باعث ایجاد کمبود در 5 تا 6 میلیون هکتار از زمین های کشاورزی شده است

[Anonymous, 1998]. همچنین به‌دلیل اعمال مدیریت ضعیف در مزارع کشت آبی، 10 تا 15 درصد زمین‌های کشاورزی از مشکل جمع شدگی آب و شوری آن رنج می‌برند که این دو عارضه آسیب چشمگیری بر ظرفیت تولید جهانی محصول وارد می کند [Alexandratos, 1995]. با وجود مضرات غیر منتظره فناوری، کشاورزی پایدار بهترین روش برای برآورده کردن نیاز جهانی به غذا می باشد. مفهوم کشاورزی پایدار شامل داشتن عملکرد بیشینه محصول و پایداری اقتصادی در کنار استفاده کمینه از منابع محدود طبیعی و کاهش اثرات مضر طبیعی با استفاده کمتر از آلوده کننده های شیمیایی می باشد. استفاده از کشاورزی دقیق بهتر ین روش برای رسیدن به کشاورزی پایدار در کنار هماهنگ کردن عملکرد محصولات کشاورزی با رشد جمعیت می باشد. کاربرد کشاورزی دقیق در تولید محصول را مدیریت ویژه مکانی می‌نامند.

کشاورزانی که قصد پیاده سازی کشاورزی دقیق دارند می بایست اطلاعات کا ملی در مورد تغییرات ناحیه ای مشخصات خاک داشته باشند تا بتوانند نهاده ها را متناسب با مشخصات آن ناحیه از مزرعه اعمال کنند . امروزه حسگرهای جدید الکترونیکی، مکانیکی و شیمیایی برای اندازه گیری و نقشه‌برداری مشخصه‌های منطقه‌ای خاک و گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در حین حرکت یکی از سریعترین و ارزانترین روش - های موجود برای استفاده در کشاورزی دقیق می باشد. این روش خیلی سریعتر از روش های نمونه‌برداری شبکه‌ای تجاری مرسوم قابل انجام است [Grisso, 2007].

مدیریت ویژه مکانی یکی از بهترین روش های تحقق کشاورزی دقیق در ایران می باشد. الگوی هدایت الکتریکی خاک غالباً دارای ارتباط خوبی با دیگر پارامترهای مهم خاک و مؤثر بر عملکرد محصول از جمله بافت خاک، فشردگی خاک، شوری، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای رطوبتی است که با استفاده از آن می توان الگوی تغییرات آن پارامترها را آسانتر و ارزانتر از روش‌های مربوط به اندازه‌گیری هر کدام از این پارامترها بدست آورد.

تغییرات ناحیه‌ای عملکرد محصول در سطح مزرعه نتیجه اثرات پیچیده خواص بیولوژیکی (مانند حشرات، کرم‌های زمینی و میکروب ها)، خواص مربوط به خاک (مانند شوری، مواد آلی، مواد غذایی و بافت)، خواص مربوط به انسان (مانند بازده سامانه زه کشی، فشردگی خاک منتج از استفاده از ادوات کشاورزی)، خواص توپوگرافی (مانند شیب و اختلاف ارتفاع در سطح مزرعه) و خواص آب و هوایی (مانند رطوبت نسبی، دما، میزان بارندگی) می‌باشد. مدیریت ویژه مکانی محصول با هدف مدیریت خاک، کنترل آفات و افزایش عملکرد محصول بر اساس تغییرات درون مزرعه - ای مورد استفاده قرار می گیرد [Larson and Robert, 1991]. مدیریت ویژه مکانی محصول شامل مدیریت محصولات کشاورزی در زیر ناحیه‌هایی کوچکتر از کل مزرعه با توجه به تغییرات ناحیه‌ای می باشد که هدف آن افزایش تولید محصول و افزایش بازده هزینه های انجام شده در کنار استفاده بهینه از کودهای شیمیای ی برای کاهش مضرات زیست محیطی می‌باشد.

در یک مطالعه نشان داده شد که روش‌های کاربردی اندازه گیری دقیق تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تاثیر مهمی در پیاده سازی کشاورزی دقیق در مزرعه دارند [Bullock and Bullock, 2000]. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک (EC_a) به ابزار بسیار ارزشمندی برای تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر بر الگوی عملکرد محصول تبدیل شده است و از آن می توان برای یافتن الگوی تغییرات خواص خاک در مزرعه استفاده کرد [Corwin *et al.*, 2003].

هدایت الکتریکی ظاهری خاک یکی از مشخصه های فیزیکی خاک است که قابلیت انتقال جریان الکتریکی توسط ذرات تشکیل دهنده خاک را نشان می دهد. به دلیل راحتی نسبی در ا ندازه‌گیری همچنین رابطه بالقوه آن با دیگر خواص خاک مؤثر بر عملکرد محصول هدایت الکتریکی ظاهری خاک (ECa) به یکی از پرکاربردترین اندازه‌گیری‌ها برای تعیین تغییرات مشخصه های خاک در مدیریت ویژه مکانی تبدیل شده است . اگرچه ECa تاثیر مستقیم بر

رشد محصول و عملکرد ندارد اما تغییرات مکانی آن با دیگر خواص خا ک مؤثر بر عملکرد محصول مرتبط است . مطالعات فراوان نشان داده است که تغییرات مکانی ECa با تغییرات مکانی عملکرد ناشی از تغییرات خواص خاک مرتبط است [Kitchen *et al*., 1999]. عموماً خواص مختلف خاک مانند محتوا ی رطوبتی خاک [Kachanoski *et al*., 1988]، مقدار ماده آلی خ اک [Banton *et al*., 1997]، شرایط زه کشی مزرعه [Kravchenko et al., 2002 ، شوری [McNeill, 1992]، بافت خاک [Williams and Hoey, 1987] و عمق لایه رسی [Kitchen *et al*., 1999] با ECa مرتبط است. با توجه به اینکه بسیاری از این عوامل با عملکرد محصول مرتبط هستند، می - توان اندازه گیری ECa را به عنوان اندازه گیری جایگزین از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با هزینه خیلی کم مورد استفاده قرار داد [Hartsock et al., 2001].

مواد و روشها

با توجه به نظر محققان در مورد حساسیت دستگاه به وضعیت زمین و لزوم کار در یک مزرعه با خاک نرم قطع ه زمینی به مساحت چهار هکتار جهت انجام آزمایش مزرعه ای با دستگاه ساخته شده توسط مولفان انتخاب شد . فاصله بین خطوط حرکتی در مزرعه 15 متر در نظر گرفته شد عمق سطحی (صفر تا سی سانتی متر) برای انجام کار با دستگاه درنظر گرفته شد. عمق نفوذ محصولاتی که معمولاً در این مزارع کشت می شود (مانند گندم) نیز در همین حد است. به منظور متعادل شدن رطوبت خاک در عمق مورد نظر انجام کار با دستگاه به پنج روز بعد از عملیات نرم کردن خاک مزرعه موکول شد. با توجه به اینکه تغییرات دما در محیط خاک و هوای اطراف در مقدار هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده با دستگاه مؤثر بود لذا ساعات میانی روز برای انجام کار با دستگاه در نظر گرفته شد تا تغییرات دما بر داده های قرائت شده با دستگاه تاثیر چشمگیری نداشته باشد . در شکل 1 نمایی از دستگاه حین کار در مزرعه مشاهده می‌گردد.

شکل 1- دستگاه در حین اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک

پس از اتمام داده برداری آن ها را وارد نرم افزار ArcGIS کرده و نقشه هدایت الکتریکی مزرعه ترسیم می‌گردد. پس از ترسیم نقشه هدایت الکتریکی ظاهری 25 نقطه برای کالیبراسیون داده های هدایت الکتریکی در مزرعه در

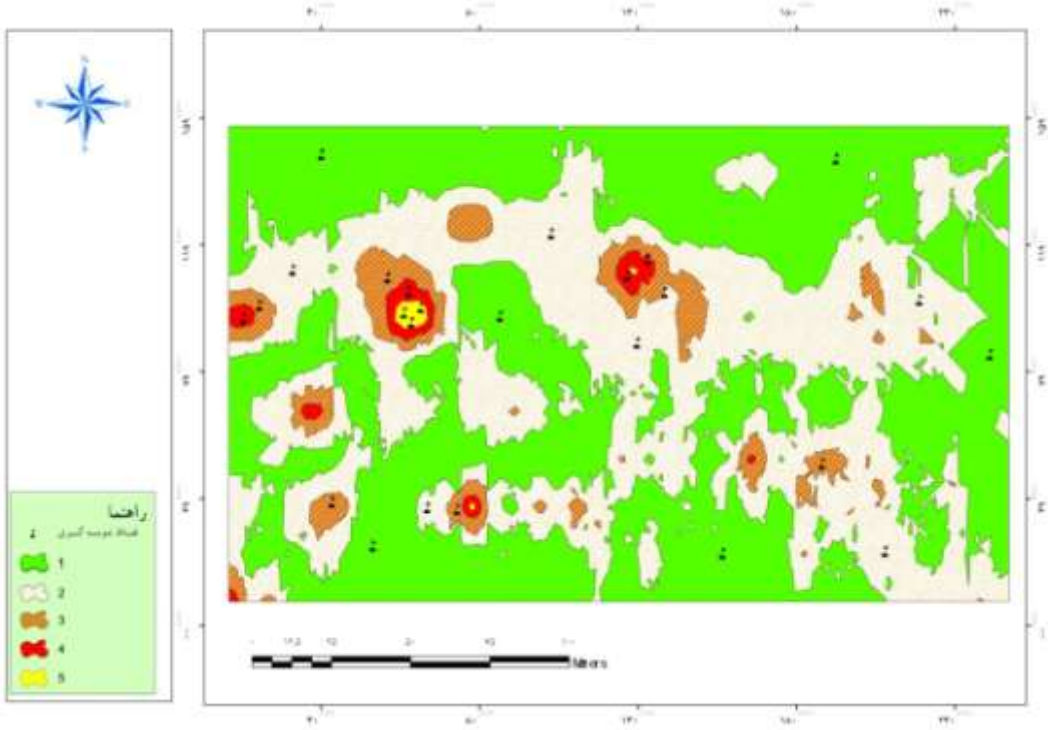
نظر گرفته شدکه می بایست پراکندگی نمونه ها در سطح مزرعه یکنواخت باشد، نمونه گیری از مناطق مرزی نیز انجام بگیرد، انتخاب نقاط به صورت تصادفی باشد، تعداد نمونه ها از هر دسته متناسب با درصد مساحت آن بازه هدایت الکتریکی نسبت به کل مزرعه باشد . پس از نمونه گیری و اندازه گیری فاکتورهای موثر بر عملکرد محصول شامل محتوای رطوبتی، چگالی ظاهری، pH، ECe، درصد اشباع، کربن آلی، درصد شن، درصد سیلت، درصد رس، بی کربنات، کلر، پتا سیم، سدیم، منیزیم و کلسیم همبستگی بین داده های هدایت الکتریکی اندازه گیری شده با دستگاه و فاکتورهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه بررسی شد.

نتایج و بحث

به منظور خنثی سازی اثر دما با توجه به رابطه شیتز و هندریکس ابتدا مقدار ضریب تصحیح تعیین گردید [Sheets and Hendrickx, 1995]. در حین اندازه‌گیری دما در منطقه 30 درجه بود.

$$f_t = 0.4470 + 1.4034 \exp\left(\frac{-30}{26.815}\right) = 0.91 \quad (1)$$

پس از انجام داده برداری نقشه هدایت الکتریکی ظاهری با استفاده از نرم افزار ArcGIS ترسیم شد (شکل 2). سطح مزرعه به پنج منطقه مدیریتی تقسیم شد که هر کدام از نواحی پنج گانه دارای خصوصیات مشابهی است . همانطور که مشاهده می شود عمده سطح مزرعه دارای میزان هدایت الکتریکی کم بوده و در گروه های اول و دوم قرار گرفت. در جدول (1) بازه هدایت الکتریکی در گروه‌های پنج گانه و درصد مساحت تخصیص یافته به هر گروه مشخص شده است.



شکل 2- نقشه هدایت الکتریکی ظاهری مزرعه

مدل‌های مختلف رگرسیون جهت پیش بینی تغییرات هدایت الکتریکی ظاهری خاک و انتخاب بهترین مدل برازش گشت. در هیچ مدلی مقدار ثابت معنی دار نشد بنابراین از آن چشم پوشی گردید . این مدلها به همراه نتایج حاصله در جدول 1 نشان داده شده اند که در آنها : Y، مقدار هدایت الکتریکی ظاهری ؛ a، مقدار ثابت؛ X_i، مقدار پارامتر i ام اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه؛ B_i، ضریب رابطه بین هدایت الکتریکی ظاهری و دیگر پار امترها که توسط مدل تعیین می‌شود و e مقدار خطای آزمایشی است.

جدول 1: مدلها و نتایج رگرسیون

Model	Equation	R^2	RMSE
$Y = a + \sum_{i=1}^{n} B_i \ln(X_i) + e$	EC_a= - 0.425 ln(%clay) - 0.771 ln(θ)	0.837	0.256
$\ln Y = a + \sum_{j=1}^{n} B_i (X_i) + e$	ln EC_a= - 0.177(%clay) + 0.154(% silt)	0.852	1.119
$\ln Y = a + \sum_{j=1}^{n} B_i \ln(X_i) + e$	ln EC_a= - 6.344 ln(%clay) + 5.752 ln(% silt)	0.833	0.444

با توجه به این سه مدل مشاهده می گردد در کل تغییرات درصد رس در مزرعه تاثیر عمده بر الگوی تغییرات هدایت الکتریکی ظاهری دارد. با توجه به R^2 و RMSE بدست آمده مشاهده می‌گردد که بیشترین R^2 را مدل دوم نشان داد در حالیکه بیشترین RMSE هم در مدل دوم نشان داده شد که از اعتبار این مدل می کاهد. مدل‌های اول و سوم میزان R^2 مشابهی داشتند ولی مدل اول RMSE کمتری نشان داد که می توان نتیجه گرفت که مدل اول رگرسیون از دو مدل دیگر اعتبار بیشتری دارد. با توجه به همبستگی موجود بین محتوای رطوبتی و درصد رس و وابستگی محتوای رطوبتی به درصد رس می توان نتیجه گرفت که مهمترین پارامتر تاثیرگذار بر هدایت الکتریکی ظاهری خاک درصد رس است . درصد سیلت نیز در دو مدل رگرسیونی با هدایت الکتریکی ظاهری مرتبط شد اما ارتباط آن ضعیف تر از درصد رس بود . در یک مطالعه، محققین با استفاده از رگرسیون ارتباط بین مقادیر هدایت الکتریکی ظاهری خاک خاک و درصد رس، سیلت، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی و هدایت الکتریکی گل اشباع بررسی کرده‌اند. آن‌ها بیشترین مقادیر R^2 را برای درصد رس و سیلت و ظرفیت تبادل کاتیونی بدست آوردند [Sudduth *et al.*, 2003]. همچنین نتایج بدست آمده ارتباطی بین هدایت الکتریکی عصاره اشباع که شاخص نشان دادن مقدار شوری مزرعه است و مقادیر هدایت الکتریکی ظاهری اندازه گیری شده توسط دستگاه نشان نداد . با توجه به اینکه مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که مزرعه دارای خاک غیر شور است لذا عدم وجود ارتباط بین هدایت الکتریکی ظاهری و شوری که توسط دیگر محققین نیز به آن اشاره شده است کاملاً منطقی می باشد . با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود که با داشتن مقادیر هدایت الکتریکی ظاهری خاک در سطح مزرعه که اندازه گیری آن با دستگاه ساخته شده بسیار ساده و سریع بوده و آسانتر و ارزانتر از دیگر مشخصه های خاک است و استفاده از روش نمونه گیری هدفمند، با داشتن تعداد کمی نمونه از خاک مزرعه، بدون توجه به مساحت مزرعه، می توان اطلاعات خوبی از الگوی تغییرات مشخصه های م هم

خاک و موثر بر عملکرد محصول بدست آورد که در پیاده سازی کشاورزی دقیق بسیار مفید و سودمند خواهد بود . با وجود اینکه استفاده از اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک در کشورهای توسعه یافته جهان در بخش کشاورزی، به امری عادی و معمول تبدیل شده اما متاسفانه در ای ران هنوز استفاده از این روش در حد مطالعات بسیار مختصر و جزئی و انگشت شمار می باشد که همت مسئولین بخش کشاورزی کشور را برای توسعه استفاده از این روشها و دیگر روشهای مهم در جهت اعمال نمونه گیری هدفمند می طلبد.

مراجع

Alexandratos, N. (1995) World Agriculture: Towards. Wiley, Chichester, UK, p. 2010.

Anonymous (1998) 1998–99 World Resource s – A Guide to the Global Environment. Oxford Uni-versity Press, New York, USA.

Banton, O., M.K. Seguin, M.A. Cimon (1997) Mapping field-scale physical properties of soil with electrical resistivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 61 (4), 1010–1017.

Bullock, D.S., D.G. Bullock (2000) Economic optimality of input application rates in precision farming. Prec. Agric. 2, 71–101.

Corwin, D.L., S.M. Lesch, P.J. Shouse, R. Soppe, J.E. Ayars (2003) Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. Agron. J. 95 (2), 352– 364.

Grisso, R.B., M. Alley, D. Holshouser, W. Thomason (2007) Precision farming tools: soil electrical conductivity. Virginia Cooperative Extension. Publication 442-508.

Hartsock, N.J., T.G. Mueller, G.W. Thomas, R.I. Barnhisel, K.L. Wells, S.A. Shearer (2001) Soil electrical conductivity variability. In P.C. Robert et al. (ed.) Proc. Int. Conf. on Precision Agric., 5th, Bloomington, MN. 16.19 July 2000. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Kachanoski, R.G., E.G. Gregorich, I.J. Van-Wesenbeeck (1988) Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. Can. J. Soil Sci. 68, 715–722.

Kitchen, N.R., K.A. Sudduth, S.T. Drummond (1999) Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. J. Prod. Agric. 12, 607–617.

Kravchenko, A.N., R. Omonode, G.A. Bollero, D.G. Bullock (2002) Quantitative mapping of soil drainage classes using topographical data and soil electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:235.243.

Larson, W.E., P.C. Robert (1991) Farming by soil. In: Lal, R., Pierce, F.J. (Eds.), Soil Management for Sustain-ability. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, USA, pp. 103–112.

McNeill, J.D. (1992) Rapid, accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. In: Topp, G.C., Reynolds, W.D., Green, R.E. (Eds.), Advances in Measurements of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice, SSSA Special Publication No. 30. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp. 201–229.

Sheets, K.R., J.M.H. Hendrickx (1995) Non-invasive soil water content measurement using electromagnetic induction. Water Resour. Res. 31, 2401–2409.

Sudduth, K.A., N.R. Kitchen, G.A. Bollero, D.G. Bullock (2003) Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. Agronomy J. 95:472-482.

Williams, B.G., D. Hoey (1987) The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay contents of soils. Aust. J. Soil Res. 25, 21–27.