مروری جامع بر روش‌های اندازه‌گیری مواد مغذی خاک در کشاورزی دقیق

سماء عمید[۱]* یوسف عباسپور گیلانده[۲]، ترحم مصری گندشمین[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی،S_amid@yahoo.com
۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه محقق اردبیلی
۳- استادیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

روش‌های مرسوم آزمایش خاک، از جمله نمونه‌برداری از خاک و تجزیه‌وتحلیل آن، پرهزینه و وقت‌گیر هستند. بنابراین توسعه سنسورهایی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک که محدودیت روش‌های مرسوم را کاهش دهد ضروری است. اندازه‌گیری‌های دقیق موادمغذی خاک به‌منظور تولید کارآمد محصولات کشاورزی، از جمله ابزارهای مدیریت مکان ویژه محصول (SSCM) می‌باشد. بسیاری از محققان اقدام به توسعه سنسورهای در حال حرکت به‌منظور اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی خاک نموده‌اند، در حالیکه تنها سنسورهای نوری و الکتروشیمیایی بطور وسیعی برای سنجش موادمغذی خاک استفاده می‌شود. مثال‌هایی از کاربرد سنسورهای نوری و الکتروشیمیایی به منظور آنالیز خاک در این بررسی ارائه شده است. روش‌های ارائه شده نشان می‌دهد که سنسورهای در حال حرکت دارای خصوصیات غیرمخرب و سریع بالقوه برای تغییرپذیری موادمغذی خاک در زمین‌های زراعی می‌باشد.

کلمات کلیدی: سنسورهای الکتروشیمیایی، سنسورهای نوری، موادمغذی خاک، مدیریت مکان ویژه محصول

۱- مقدمه

مدیریت دقیق مواد مغذی خاک، هدفی حیاتی در دستیابی به کشاورزی پایدار و حفظ افزایش ضروری در تولید موادغذایی می‌باشد. درحالیکه به حداقل رساندن خسارت اقتصادی و اثرات زیست محیطی را نیز به دنبال دارد(Bah *et al.*, 2012).موادمغذی خاک مانند نیتروژن (N)، فسفر (P) پتاسیم (K) عناصر ضروری برای رشد گیاه می‌باشد. استفاده تجاری از کودهای N، P وK به افزایش فوق‌العاده‌ای در عملکرد محصولات کشاورزی که جمعیت جهان را تغذیه می‌کند، کمک کرده است. به هر حال، استفاده بیش از حد از این کودها به عنوان منبع آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی اشاره دارد. بطور ایده‌آل نرخ‌های کاربرد باید براساس برآورد مورد نیاز برای تولید بهینه در هرمکان تنظیم شود زیرا تنوع مکانی بالایی از N، P و K در مزارع کشاورزی وجود دارد

(Kim *et al.*, 2009).محصولات مختلف میتوانند در انواع مختلف خاک‌ها کشت شوند اما تغییر عملکرد محصول بطور نزدیکی با تغییر موادمغذی خاک در ارتباط است. حاصلخیزی منطقی خاک بر پایه‌ی حداکثر عملکرد با حداقل کود استوار است که ارقام و اهداف عملکرد گیاهان میتواند انواع و مقادیر کودها و موادمغذی در خاک را تعیین کند (Wang *et al.*, 2012؛ Jing Cheng, 2002).

کشاورزی دقیق (PA[1]) یا مدیریت مکان ویژه[2]، کشاورزان و علاقه‌مندان به زمین پایدار را در تصمیم‌گیری مدیریت دقیق برای سیستم‌های مختلف کشت در سراسر جهان کمک می‌کند. شناخت متغیرها نقش مهمی در کشاورزی دقیق برای تغییر یا سفارش نرخ ورودی همچون محتوی رطوبتی خاک برای بذر، تشخیص علف‌های هرز برای کاربرد علف‌کش‌ها، مقاومت خاک برای انرژی مورد نیاز و موادمغذی خاک برای کاربرد کود ایفا می‌کند (Maleki and Zamiran, 2009).کشاورزی دقیق، روشی سریع و در حال توسعه براساس تغییرپذیری مزرعه و خواستار برخی از اطلاعات در مورد خواص فیزیکی و شیمیایی خاک است (Debaene*et al.*, 2010).

برای داشتن کشاورزی دقیق موفق ۳ چیز لازم است (Thomasson et al., 2001):

- داده‌های مکان ویژه دقیق پایش وضعیت مزرعه‌ای
- روابط بین داده‌های وضعیت و منافع اقتصادی و زیست محیطی
- اعمال نهاده‌ها با نرخ متغیر بر اساس پایش وضعیت

کمیت تنوع مکانی پارامترهای خاک به منظور اجرای موفقیت‌آمیز مکان ویژه مهم است. پارامترهای خاک بطور مکانی شناخته شده‌اند و با در دسترس بودن تکنولوژی سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، تغییرات پارامتر خاک میتواند بهدقت نقشه‌برداری شود. تحقیقات نشان داده است، نیاز به اطلاعات مرجع زمینی در بیشتر پارامترهای خاک که قادر به شناسایی هر کدام از پارامترهای از جمله کمبود موادمغذی سطح خاک و ... باشد، دارد(Hummel *et al.*, 2001).

۲- روش‌های اندازه‌گیری مواد مغذی خاک

کاربردهای نرخ متغیر[3] کوددهی، یکی از اصول اساسی کشاورزی دقیق است که به منظور بهینه سازی راندمان مصرف کود توسط غلبه بر این مشکل بیش از حد و تحت کوددهی نشان داده شده است. این استراتژی برای افزایش عملکرد محصول و کیفیت، کاهش ضایعات و نظارت بر حفظ سلامتی و محیط زیست در نظر گرفته شده است (Bah *et al.*, 2012).روش های مرسوم آزمایش خاک، از جمله نمونه‌برداری از خاک و تجزیه‌وتحلیل شیمیایی، پرهزینه و وقت‌گیر هستند زیرا تاخیر طولانی از

[1]Precision agriculture
[2] Site-Specific Management
[3]Variable rate

جمله محدودیت‌های استفاده از آنها در سیستم‌های مدیریت نرخ متغیر کوددهی می‌باشند. درحال حاضر، توسعه سنسورهایی با دقت مناسب برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک که قادر به کاهش زمان آنالیز و هزینه های مرتبط با تست خاک می‌باشند ضروری است. یک سنسور در حال حرکت مواد مغذی خاک مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم ویژگی متنوع درون مزرعه ای افزایش و مفید در مدیریت مکان ویژه حاصلخیزی خاک خواهد بود (Kim *et al.* ,2006).

بر اساس یک قاعده کلی که در آن خاک با محتوی رطوبتی ثابت با محتویات ماده آلی بیشتر، تیره‌تر به نظر میرسد بر اساس مفهومی از سنجش الکترو نوری ماده آلی خاک (SOM[1]) ممکن است تشکیل گرفته شود. محققان روش‌های متعددی برای خودکار نمودن این مفاهیم بررسی کرده اند، مشکلات اصلی این حسگرها که رنگ خاک یا بازتاب نوری تابعی از ویژگی‌های دیگر از قبیل رطوبت، بافت، کانی ها و مواد اصلی همچون SOM هستند (Hummel *et al*., 2001).

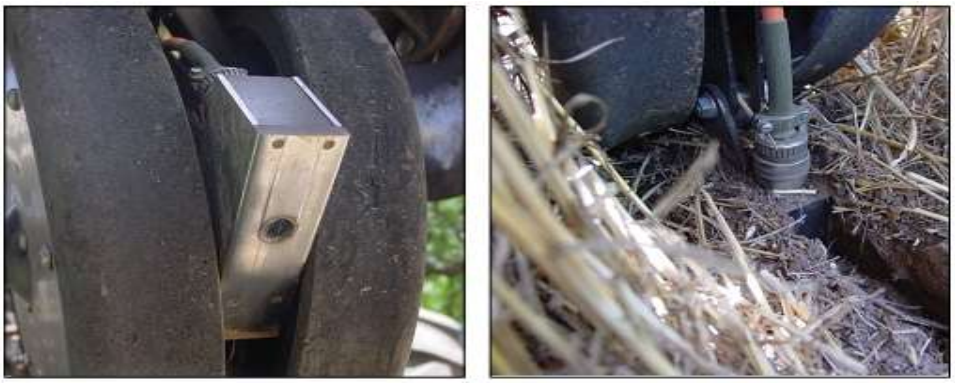
با پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی حسگرها، تکنیک‌های مختلفی برای تعیین و اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، توسعه داده شده است. عمده حسگرهای موادمغذی خاک شامل سنجش نور بازتاب شده و سنجش الکتروشیمیایی براساس الکترودهای یون انتخابی[2] یا ترانسدیوسرهای مؤثر میدانی یون انتخابی[3] می‌باشند.

۱-۲- سنسورهای نوری

سنجش بارتاب نوری در محدوده طول موج‌های مرئی[4] (VIS) و مادون قرمز[5] (NIR) در کشاورزی برای ارزیابی بافت، رطوبت، ظرفیت تبادل کاتیونی(CEC) و دیگر ویژگی‌های خاک استفاده می‌شود و روشی سریع برای تعیین ویژگی‌های خاک می‌باشد (Kim *et al.* ,2009Debaene*et al*., 2010).

سنسورها با استفاده از امواج الکترومغناطیسی، سطح جاذب و دافع توسط ذرات خاک را تشخیص می‌دهند (Adamchuk*etal.*,2004). در اصل اسپکتروسکوپی[6] (طیف سنجی) انتشار بازتابی در تعامل میان تابش نور و ویژگی‌های سطحی خاک می‌باشد، که ویژگی‌های نور منعکس شده با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک متفاوت است(Kim *et al.* ,2009). روش‌های سنجش نوری موادمغذی، غیرمخرب هستند و اغلب در مقایسه با سنجش الکترومغناطیسی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. سنسورهای نوری خاک، پتانسیل بالایی برای برآورد ماده آلی خاک براساس رنگ خاک دارند (Bah *et al*., 2012).

[1]Soil organic matter
[2] Ion-selective electrode
[3]Ion-selective field effect transistor
[4]visible
[5]Near-Iinfrared
[6]Spectroscop



شکل **۱.** کاربرد سنسور نوری در سنجش مواد مغذی خاک

مطالعات آزمایشگاهی اولیه، ارتباط ماده آلی خاک با هر دو بازتاب مرئی و مادون قرمز را نشان داده‌اند که مثال‌هایی از کاربرد سنسورهای نوری در تعیین میزان مواد مغذی خاک در این تحقیق ارائه شده است.

هومل و همکاران (Hummel *et al*., 2001)، به بررسی توانایی سنسور بازتاب مادون قرمز(NIR) به منظور پیش‌بینی ماده آلی خاک و محتوی رطوبتی خاک در خاک‌های سطحی و زیرسطحی پرداختند. برای این مطالعه، سه مخروط خاک در ۱۶ مکان از یک منطقه امریکا در هشت عمق افزایشی و شش سطح رطوبت جمع‌آوری شده است. داده‌های بازتاب طیفی در آزمایشگاه بر روی نمونه‌های دست نخورده بدست آمدند. داده‌ها نرمال شده و تبدیل به چگالی نوری گشته‌اند و با استفاده از رگریسیون خطی چندگانه گام به گام آنالیز شده است. خطاهای استاندارد پیش‌بینی شده برای ماده آلی خاک برابر ۰.۶۲٪ بدست آمده است. در نهایت قابلیت پیش‌بینی سنسور NIRبرای ماده آلی خاک در خاک‌های افق-B به دقت نمونه‌های لایه‌های سطحی خاک فراهم نشد اما ممکن است برای مدیریت مکان ویژه به اندازه کافی باشد.

وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2012)، از روش سیستم اندازه‌گیری موادمغذی خاک بر اساس ARMکه بر اساس روش طیف‌سنجی نوری پایه‌گذاری شده است استفاده کردند و میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک را با دقت بالایی بیان نمودند. همچنین در مطالعه دیگری بر روی مزارع نبراسکای مرکزی نشان دادند که ماده آلی سطح خاک را می‌توان با استفاده از تصویر هوایی باند گستر و یا سنسور فعال زمینی پیش‌بینی نمود (Rabert*et al*., 2010).

هلزاپفل و همکاران (Holzapfel*et al*., 2009)، امکان استفاده از سنسورهای نوری در کانولا[1] را برای تعیین استراتژی مدیریت بهینه N بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که مدیریت مبتنی بر سنسور N، در مقایسه با عمل مرسوم حدود ۳۴ KgN/h کاهش در استفاده از کود، بدون تاثیر بر عملکرد دانه بود. آنها نتیجه گرفتند که مدیریت نیتروژن مبتنی بر حسگر امکان عملی برای تولید کانولادر غرب کانادا بود و دارای پتانسیلی به منظور افزایش طولانی مدت استفاده از نیتروژن در مزارع می‌باشد.

[1] Canola

به منظور بررسی امکان استفاده از طیف مادون‌قرمز برای تعیین سریع محتوی نیترات خاک مطالعه‌ای انجام شده است. در این مطالعه، محققان آزمایشات آزمایشگاهی و مزرعه‌ای را با استفاده از دو نوع خاک به منظور بررسی مناسب بودن طیف NIR برای اندازه‌گیری نیترات خاک انجام دادند. نتایج آنها نشان می‌دهد که با استفاده از طیف NIR خاک در محدوده ی ۲۲۰۰-۱۸۰۰ نانومتر می‌توان محتوای نیترات خاک را تعیین نمود. همچنین، احسانی و همکاران از طیف سنجی MIR[1] برای آشکار نمودن اثر یون نیترات استفاده کردند. براساس این مطالعه که شامل دو نوع خاک و منبع نیتروژن معدنی افزوده شده به عنوان کود می‌باشد به این نتیجه رسیدند که طیف سنجی MIR روش مناسبی برای تعیین سریع نیتروژن معدنی خاک فراهم می‌کند (Upadhaya*et al*., 1993؛ Ehsani*et al*., 1999وEhsani*et al*., 2000 به نقل از Adamchuk*etal*.,2004).

ملکی و ضمیران (Maleki and Zamiran, 2009)، مطالعه‌ای به منظور تعیین سودآوری نرخ متغیر (VR) کوددهی فسفات (P_2O_5) در عملکرد دانه ذرت با استفاده از نور مرئی و مادون قرمز با سنسورهای مبتنی بر اعمال VR خاک انجام دادند(شکل ۲). این بررسی در دو سطح خاک با میزان فسفر مختلف انجام شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که کوددهی درحال حرکت VR فسفر بر اساس سنسور VIS-NIRدر زمین‌هایی با سطح فسفر بالا سودآور است و کاربرد نرخ متغیرکود فسفر می‌تواند عملکرد محصول و سود اقتصادی را افزایش و تغییرپذیری عملکرد را کاهش دهد.در مطالعه‌ای بر روی سنجش فسفر خاک از طیف‌سنجی ماورای بنفش، مرئی و مادون‌قرمز استفاده شده است. در این مطالعه رگرسیون چندگانه خطی[2] (SMLR) و رگرسیون جز به جزPLSR[3] مربوط به اطلاعات طیفی غلظت فسفر مورد استفاده قرار گرفته است. بطور کلی نتایج آنالیز PLSR بهتر از نتایج SMLR بودند و در نهایت روابط محکمی میان جذب غلظت فسفر در خاک با PLSR بدست آمده است (Bogreci and Lee, 2005).

ریوز و همکاران (Reeves et al., 2002)، در تحقیقات خود نشان دادند که بازتاب طیف‌سنجی NIR و MIRمی‌توانند بطور دقیقی کربن آلی خاک را تعیین کنند. نتایج بیان میکند که هر دو طیف می‌توانند تفاوت بین کربن آلی و غیرآلی خاک را تشخیص دهند، اما MIR دقیق تر برای کالیبراسیون می‌باشد. در نتیجه هر دو طیف، پتانسیل زیادی برای تعیین و ارائه مقدار کربن مورد نیاز دارند.

۲-۲- سنسورهای الکتروشیمیایی

روش‌های الکترشیمیایی بطور موفقیت‌آمیزی برای ارزیابی حاصلخیزی خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. حاصلخیزی خاک معمولا با استفاده از یک الکترود یون انتخابی (ISE)، یا یک ترانسدیوسر میدانی یون موثر انتخابی (ISFET) اندازه گیری می‌شود.

[1] Mid- Iinfrared
[2] Stepwise Multiple Linear Regressions
[3] Partial Least-Squares Regressions

در هر دو مورد، اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل ولتاژ بین قسمت‌های حسگر و مرجع سیستم به غلظت یون‌های خاص مربوط شده است (Adamchuk*etal*.,2004 ؛Bah *et al*., 2012).

شکل**۲**. سنسور VIS-NIR خاک مبنی بر اعمال نرخ متغیر فسفر. (a) کارنده و کوددهنده. (b) واحد حسگر و نفوذسنج. (c) آنتن DGPS. (d) محرک الکتریکی. (e) غلتکی برای بستن تراشه ساخته شده توسط واحد نفوذ.

ترانسدیوسر میدانی یون موثر انتخابیهمان اساس نظریه الکترود یون انتخابی را دارا می‌باشد. به عنوان مثال، هر دو ISE ها و ISFETها پاسخ انتخابی به یک یون خاص در راه حلی مطابق با یک رابطه لگاریتمی بین فعالیت یونی و پتانسیل الکتریکی است. ISEها و ISFETها نیاز به رسمیت شناختن مؤلفه‌هایی همچون غشاهای یون انتخابی دارد که با یک الکترود مرجع یکپارچه شده است و قادر به تبدیل واکنش شیمیایی به سیگنال می‌باشد (Kim *et al*. ,2009).

ترانسدیوسرهای یون مؤثر انتخابی دارای مزایای متعددی نسبت به الکترود یون انتخابی از جمله ابعاد کوچک، امپدانس خروجی پایین، نسبت سیگنال به نویز بالا، پاسخ سریع و توانایی ادغام چندین سنسور بر روی یک تراشه الکترونیکی هستند. مؤلفه‌های مهم از هر دو ISEها و ISFET ها یک غشای یون انتخابی است که پاسخ انتخابی به یک آنالیت در حضور یون های دیگر در یک محلول است (Kim *et al*. ,2006). غشاهای یون انتخابی برای سنجش بسیاری از مواد مغذی مهم خاک از جمله NO_3، K، Na،Ca ،Mg وCl موجود هستند (Kim *et al*. ,2009).

در مطالعه‌ای به بررسی موادمغذی خاک با استفاده از وسیله در حال حرکت مبتنی بر سنسور الکتروشیمیایی پرداختند. نقشه‌های بدست آمده از سنسور در حال حرکت الکتروشیمیایی بیشتر از ویژگی‌های مکانی مربوط به نرخ متغیر کوددهی در مقایسه

با نقشه‌های بدست آمده از نمونه‌های استاندارد آشکار می‌کند. نقشه‌های بدست آمده از حسگرها نیز دقت بالاتری از داده‌ها برای محاسبه کود مورد نیاز را به همراه داشتند (Schirrmann and Pomsch, 2011).

الکترودهای یون انتخابی که به صورت تجاری در اندازه‌گیری pH محلول و الکترولیت‌ها استفاده می‌شود، به منظور تعیین نیترات در خاک توسط بسیاری از محققان در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ بکار گرفته شده بود. آنها تحقیقات خود را بر روی ISEها به عنوان جایگزینی برای تست روتین خاک متمرکز کردند و گزارش نمودند که تکنولوژی ISE برای آنالیز خاک سازگار است (Kim *et al.*, 2006). در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی استفاده از سنسور Multi-ISFET به منظور اندازه‌گیری نیترات خاک در سیستم آنالیز تزریق جریان[1] (FIA) با استفاده از نرخ کم، زمان تزریق کوتاه و شستشوی سریع پرداختند. نتایج نشان داد که سیستم مورد استفاده برای اندازه گیری محتوی نیترات خاک در استخرج خاک تحت شرایط کنترل شده با موفقیت مورد استفاده قرار گرفت (Birrell and Hummel, 1997).

کیم و همکاران (Kim et al., 2006)، در مطالعه خود به بررسی غشاهای یون انتخابی نیترات و پتاسیم و همچین بررسی تعامل میان غشاهای یون انتخابی و نمونه خاک برای شناسایی غشاها و استخراج محلول‌هایی که برای استفاده با یک سنسور ISFETزمان واقعی برای اندازه گیری یون‌های نیترات و پتاسیم موجود در خاک سازگار هستند پرداختند. از این مطالعه دریافتند که پاسخ غشاهای نیترات با TDDA[2] نیترات یا MTDA[3] کلراید و غشاهای پتاسیم با والینومایسن[4] توسط هر دو نوع غشا و نمونه خاک تحت تاثیر قرار گرفتند. یک غشای نیترات مبتنی بر TDDA خواهد بود که قادر به تشخیص غلظت‌های کم در خاک‌هایی به حدود 10^{-5} Mole/L NO_3^-است. غشاهای پتاسیم مبتنی بر والینومایسن بطور رضایت بخشی عملکرد انتخابی در اندازه‌گیری پتاسیم در حضور کاتیون‌های مداخله گر همچون Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، AL^{3+} و Li^+ نشان دادند که به خوبی حساسیت سازگار را فراهم می‌کنند.

۳- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش آلودگی محیط زیست به دلیل استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی نیاز به کنترل موادمغذی موردنیاز خاک برای رشد محصول روز به روز بیشتر می‌شود. برای این منظور، پیاده‌سازی تکنولوژی‌های کشاورزی دقیق برای مدیریت مواد مغذی خاک ضروری می‌باشد. سنسورهای در حال حرکت، غیرمخرب‌ترین و سریع‌ترینروش به‌منظور مدیریت دقیق موادمغذی خاک است. در میان روش‌های اندازه‌گیری موادمغذی خاک توسعه داده شده، سنسورهای نوری و الکتروشیمیایی دارای سطح پذیرش بالاتری نسبت به سایر روش‌ها بوده‌اند. بازتاب نوری به دلیل غیرمخرب بودن یکی از محبوب‌ترین روش‌ها در بخش

[1] Flow Injection analysis
[2] Tetradodecylammonium
[3] Methlytridodecylammonium
[4] Valinomycin

کشاورزی است که برای تعیین ویژگی خاک و مدیریت مکان ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، استفاده از تکنولوژی سنسورهای نوری در درجه اول به دلیل تخمین نسبتاًضعیف در سطوح بحرانی برای اندازه‌گیری موادمغذی خاک محدود شده است. در نتیجه سنسورهای الکتروشمیایی با الکترودهای یون انتخابی یا ترانسدیوسرهای میدانی یون موثر انتخابی به دلیل واکنش سریع و دقیق‌تر روش مناسبی برای تجزیه و تحلیل ویژگی های خاک می‌باشد. از جمله معایب سنسورهای در حال حرکت خاک بر اساس تکنولوژی یون انتخابی افزایش پیچیدگی سیستم برای اندازه‌گیری است.

4- منابع

1- Adamchuk, V.I., J.W. Hummel, M.T. Morgan and S.K. Upadhyaya, 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture,44: 71-91.
2- Bah. A., S.K. Balasundram and M.H.A. Husni, 2012. Sensor technologies for precision soil nutrient management and monitoring. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 7(1): 43-49.
3- Birrell, S.J. and J.W. Hummel, 1997. Multi-sensor ISFET system for soil analysys. European Conference on Precision Agriculture Proceedinds.UK.
4- Bogrekci, I. and W.S. Lee, 2005. Spectral phosphorus mapping using diffuse reflectance of soils and grass. Biosystems Engineering, 91 (3):305-312.
5- Debaene, G., J. Niedzwiecki and A. Pecio, 2010. Visible and near-infrared spectrophotometer for soil analysis: preliminary results. Polish Journal of Agronomy, 3: 3-9.
6- Holzapfel, C.B., G.P. Lafond, S.A. Brandt, P.R. Buiiock, R.B. Irvine, D.C. James, M.J. Morrison and W.E. May, 2009. Optical sensors have potential for determining nitrogen fertilizer topdressing requirements of canola in Saskatchewan. Canadian Journal of Plant Science, 89: 411-425.
7- Hummel, J.W., K.A. Sudduth and S.E. Hollinger, 2001. Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface sils using an NIR soil sensor. Computers and Electronics in Agriculture. 32: 149-165.
8- Jing, J., and Ch. Jiang, 2002. Spatial variability of soil nutrients and site-specific nutrient management in the P.R-China. Comouters and Electronics in Agriculture, 36: 165-172.
9- Kim, H.J., J.W. Hummel and S.J. Birrell, 2006. Evaluation of nitrate and potassium Ion-selective membranes for soil macronutrient sensing. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 49(3): 597-606.
10- Kim, H.J., J.W. Hummel, K.A. sudduth and S.J. Birrell, 2007. Evaluation of Phosphate Ion- selective membranes and cobalt based electrodes for soil nutrient sensing. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(2): 415-425.
11- Kim, H.J., K.A. sudduth and J.W. Hummel, 2009. Soil macronutrient sensing for precision agriculture. Journal of Environmental Monitoring., 11: 1810-1824.
12- Maleki, M.R. and A. Zamiran, 2009. Evaluating the profitability of a soil sensor-based variable rate applicator for on-the-go phosphorus fertilization. International Journal Of Agriculture & Biology, 11: 651-658.
13- Reeves, G., G.Mc. Carty and T. Mimmo, 2002. The potential diffuse reflectance spectroscopy for the determination of carbon inventories in soils. Environmental Pollution, 116: 277-284.

14- Roberts, D.F., V.I. Adamchuk, J.F. Shanahan and R.B. Ferguson, 2010. Estimation of surface soil organic matter using a ground-based active sensor and aerial imagery. Precision Agric.
15- Schirrmann, M. and H. Domsh,2011. Sampling procedure simulating on-the-go sensing for nutrients. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 174(2): 333-343.
16- Thomasson, J.A., R. Sui, M.s. Cox and A.AL. Rajehy, 2001. Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture. American Society of Agricultural Engineers, 44(6): 1445-1453.
17- Wang, X., K. Wang, SH. Zhuang, D. Li and B. Liu, 2012. Research of the soil nutrient measuring system based on ARM. Procedia Engineering, 29: 2291-2295.

A Comprehensive Overview of Measurement Methods Soil Nutrients in Precision Agriculture

Sama Amid[1*] Yousef Abbaspour-Gilandeh[2] and Tarahom Mesri Gundoshmian[3]

1- MSc Student, Department of Agricultural Mechanization, Mohaghegh University of Ardabil
S_amid@yahoo.com
2- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery, Mohaghegh University of Ardabil
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Mohaghegh University of Ardabil

Abstract

Conventional soil testing methods, including soil sampling and chemical analysis, are costly and time consuming. Therefore, the development of sensors for measuring soil properties is essential to reduce the limitations of conventional methods. Accurate measurements of soil nutrients in order to produce efficient agricultural production, including produce efficient agricultural production.Numerous researchers have attempted to develop on-the-go soil sensors to measure physical and chemical soil properties, while only optical and electrochemical sensors widely used for soil nutrient sensing. Examples of optical and electrochemical sensors applied in soil analyses are given. This review demonstrates the potential of on-the-go sensors for non-destructive and rapid characterization of soil nutrient variability within crop fields.

Keywords: Electrochemical sensors, Optical sensors, Soil organic matter, Site-specific crop management.