معرفی چند روش هوشمند نمونه‌برداری خاک

احمد صادقی[۱]، هادی حسینی[۲]

چکیده

با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضای مواد غذایی، آشنایی کشاورزان با روش‌های نوین نمونه‌برداری از خاک و بررسی شرایط حاصلخیزی خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و پهپادهای نقشه‌برداری لازمه افزایش عملکرد و ارتقای بهره‌وری در مصرف نهاده‌های شیمیایی در مزرعه است. خاک‌ورزی و نقشه‌برداری توسط تجهیزات هوشمند و پهپادها علاوه بر انجام عملیات مورد نظر، امکان نمونه‌برداری از خاک مزرعه، سنجش میزان حاصل‌خیزی، فرسایش و رطوبت آن را فراهم می‌سازد. از این طریق نقشه‌های مورد نیاز برای انجام فعالیت‌های هوشمند کشاورزی در اختیار کشاورز قرار می‌گیرد. به‌کارگیری فناوری اینترنت اشیاء از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده برای نمونه‌گیری هوشمند خاک است. این روش در مقایسه با روش‌های مرسوم از دقت و سرعت بالاتری برخودار است. در این سیستم می‌توان اطلاعات دقیق مربوط به محل کاشت محصول و ویژگی‌های خاک را منطبق با موقعیت مکانی، به صورت بلادرنگ ارسال و با استفاده از فناوری رایانش ابری انتقال اطلاعات را برای پردازش سرعت بخشید. کشاورز در هر جا و در هر زمان می‌تواند به صورت بر خط از نتایج اطلاعات آگاه و منطبق با نیاز گیاه، نهادهای شیمیایی مورد نظر را اعمال کند تا از مصرف بیش از حد از کود و سایر نهاده‌ها جلوگیری به عمل آید.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیاء، سنجش از دور، حسگر، نمونه‌برداری خاک، هدایت الکتریکی

مقدمه

از مهم‌ترین اهداف در بخش توسعه کشاورزی، افزایش عملکرد در واحد سطح است. شناخت همه جانبه خاک از مهم‌ترین عواملی است که در رسیدن به این مهم ضروری است. از طرفی دست‌یابی به اطلاعات در سطح کیفی مطلوب و قابل اعتماد در نمونه‌برداری از اهمیت بالایی برخوردار است. نمونه‌برداری از خاک وضعیت فیزیکی خاک (ساختمان، بافت، استحکام، تخلخل، نفوذپذیری، زهکشی و غیره)، خصوصیات مورفولوژیکی خاک (لایه‌های مختلف خاک، عمق ضخامت لایه‌ها، وجود لایه‌های غیر قابل نفوذ و...) ویژگی‌های شوری و pH خاک و میزان عناصر کم‌مصرف و پرمصرف خاک و غیره را مشخص کرده که با استناد بر آن می‌توان میزان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (نیاز کودی)، نحوه و زمان تغذیه گیاه، روش مناسب آبیاری، انتخاب گیاه مناسب کشت منطقه مورد آزمایش تعیین کرد و برنامه مدیریتی مناسبی متناسب با آن برای دسترسی به مصرف اقتصادی کودهای شیمیایی و آلی و ارتقاء سطح کمی و کیفی محصولات در نظر اتخاذ کرد.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۵ **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۰۳/۱۵ **ویراستار ترویجی:** فرانک صحرایی

۱. استادیار، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. **رایانامه:** a_msadeghi@yahoo.com

۲. کارشناس گروه فنی مهندسی و ماشین‌های کشاورزی.

نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل خاک

در آغاز فصل کاشت و به‌کارگیری ماشین‌های کشاورزی برای آماده‌سازی زمین، نمونه‌برداری از خاک یک اقدام مهم برای مدیریت خاص مکانی است. همچنین نمونه‌برداری از خاک به کشاورزان کمک می‌کند تا مقدار صحیح کودهای شیمیایی را برای فصل بعدی کشت اعمال کنند.

حاصلخیزی و مواد مغذی خاک

حاصلخیزی خاک ممکن است به عنوان یک ویژگی خاک برای فراهم کردن همه مواد مغذی و ضروری گیاه در شکل‌های موجود باشد. دلایل اصلی آزمایش حاصلخیزی خاک عبارتند از:

- شناخت وضعیت موجود خاک و چگونگی بهبود آن؛
- کاهش هزینه‌های مربوط به کوددهی با اجتناب از کوددهی بیش از حد و جلوگیری از تخریب بیش از حد خاک توسط کشاورزان؛
- نحوه بررسی میزان حاصلخیزی خاک به منظور بهبود ببخشیدن به آن؛

برخی مواد مغذی لازم برای رشد محصول وجود دارد که در شکل ۱ آمده است. همچنین اهمیت مواد مغذی که در گیاه موثر هستند در جدول ۱ آورده شده است.

شکل ۱- عناصر مغذی برای رشد گیاه

جدول ۱- عناصر ضروری موثر در گیاه و منبع آن (Jones & Jacobsen, 2005)

عناصر	نقش آن در گیاه	منبع
کربن (C)	ترکیبات کربوهیدرات؛ لازم برای فتوسنتز	هوا
هیدروژن (H)	تعادل اسمزی را حفظ می‌نماید؛ در واکنش‌های بیوشیمیایی متعدد مهم است؛ تشکیل دهنده کربوهیدرات است	آب
اکسیژن (O)	ترکیبات کربوهیدرات؛ لازم برای تنفس	هوا / آب
نیتروژن (N)	ترکیبی از پروتیین‌ها، کلروفیل و اسیدهای نوکلییک	هوا / خاک
فسفر (P)	ترکیب در بسیاری از پروتیین‌ها، کوآنزیم‌ها، اسیدهای نوکلییک، metabolic substrates، مهم در انرژی	خاک
پتاسیم (K)	مرتبط با فتوسنتز، جابه جایی کربوهیدرات، سنتز پروتئین و غیره	خاک
کلسیم (Ca)	جز دیواره‌های سلولی، ایفای نقش در میزان نفوذپذیری و ساختمان غشایی	خاک
منیزیم (Mg)	آنزیم فعال کننده؛ جز پروتیین‌های گیاهی	خاک
سولفور (S)	جز مهم پروتیین گیاهی	خاک
برون (B)	اعمال مهم در جا به جایی مواد قندی و دگرگونی کربوهیدرات	خاک
کلر (Cl)	مشارکت در اکسیژن به منظور ایجاد فتوسنتز	خاک
مس (Cu)	کتالیزور برای تنفس؛ جزئی از انواع مختلف آنزیم‌ها	خاک
آهن (Fe)	مشارکت در تثبیت هیدروژن و تبدیل نیترات به آمونیوم	خاک
منگنز (Mn)	چندین کنترل؛ کاهش اکسیداسیون سیستم‌ها و فتوسنتز	خاک
مولیبیدنوم (Mo)	مشارکت در تثبیت هیدروژن و تبدیل نیترات به آمونیوم	خاک
نیکل (Ni)	لازم به منظور عملکرد مناسب آنزیم، اوره و جوانه زنی بذر	خاک
زینک (Zn)	مشارکت با سیستم‌های آنزیمی که فعالیت‌های مختلف متابولیک را تنظیم می کنند	خاک

pH خاک

PH خاک بر اساس مقدار اسیدی یا قلیایی بودن خاک اندازه‌گیری می‌شود و محدوده اندازه‌گیری آن بین صفر تا ۱۴ است. مقدار ۷ خنثی، بالاتر و پایینتر بودن از مقدار۷ به ترتیب قلیایی و اسیدی بودن خاک را نشان می‌دهد. زمانی که آب خالص است حالت ایده‌آل خنثی بوجود می‌آید. اما به طور کلی تأثیراتی که باعث ایجاد حالت اسیدی یا قلیایی شدن می‌شود به طور کلی ناشی از انباشته شدن شدید یون‌ها می‌باشد (مانند کلسیم و سدیم). اصطلاح pH برگرفته از روش‌های اندازه‌گیری غلظت یون‌های هیدروژن موجود در محلول است که در فرمول ۱ آورده شده است. غلظت توسط پتانسیل الکتریکی محلول بین دو الکترود هیدروژنی نمایش داده می‌شود. اگر مقدار pH پایین‌تر از ۷ باشد، نشان‌دهنده بالا بودن میزان غلظت یون‌های هیدروژن است. کاهش یک واحد pH بیانگر افزایش ده برابری غلظت یون‌های هیدروژن (اسید) است.

فرمول (۱) $pH = -\log (H^+)+\ldots\ldots$

بیش‌تر گیاهان، خاکی با خصوصیات کمی اسیدی رو به خنثی را ترجیح می‌دهند که مقدار pH آن بین ۶ تا ۷ است. در خاک‌های خیلی اسیدی (pH بین ۴ تا ۵/۵) مواد مغذی مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به اندازه کافی وجود ندارد. در خاک‌هایی که کمی و نسبتاً قلیایی هستند دسترسی به مواد مغذی مانند فسفر، آهن، مس، روی و منگنز کاهش می‌یابد (pH بین ۷ تا ۸). همچنین مقدار pH خاک تحت تأثیر فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک است. به عنوان مثال محلول با مقدار pH، ۶ دارای غلظت ۱۰ مرتبه بیش‌تر از یون‌های H^+ محلول با مقدار pH ۷ است و همچنین ۱۰۰ مرتبه دارای غلظت بالاتری از محلول با مقدار pH ۸ است. pH خاک تحت تأثیر هر دو یون‌های اسیدی و پایه موجود در خاک است. کاتیون‌های اسیدی (یون‌های محلول مثبت) به طور معمول در هیدروژن (H^+)، آلومینیوم (Al^{3+}) و آهن (Fe^{2+} و Fe^{3+}) وجود دارند. در حالیکه بیش‌ترین پایه تشکیل‌دهنده کاتیون‌ها شامل کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، پتاسیم (k^+) و سدیم (Na^+) است. اندازه pH به عنوان یک شاخص مفید برخی از ویژگی شیمیایی و رفتاری خاک که در رشد گیاه موثر هستند را فراهم می‌کند. خاک رس قلیایی عموماً حاوی بیش‌ترین یون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم هستند (شکل۲). شایان ذکر است، خاک‌هایی با مقدار pH خیلی زیاد و یا بسیار کم برای رشد گیاه مطلوب نیستند. میزان اسیدی بودن زیاد (pH زیر۵/۵) ممکن است سبب آزاد شدن حالت سمی عناصر آلومینیوم و یا منگنز شود، در حالی‌که قلیایی بودن زیاد (pH بالاتر از ۸) توسط عناصر ریز مغذیی و کمیابی مانند مس، آهن، منگنز و روی باعث افزایش جذب ریشه خواهد شد.

شکل۲- نوع خاک بر اساس مقدار pH

هدایت الکتریکی[1]

هدایت الکتریکی یک روش ساده و آسان به منظور تعیین سلامت کلی خاک است. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی مرتبط با ویژگی خاک است و متأثر از میزان بهره‌وری محصولات است. این پارامترها شامل بافت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی[2]، شرایط زهکشی، سطح مواد آلی، شوری و ویژگی‌های شخم عمیق است. هدایت الکتریکی معمولاً با واحد میلی‌زیمنس بر متر (mS/m) بیان می‌شود. همچنین ضریب هدایت الکتریکی خاک با واحد اندازه‌گیری دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) نمایش داده می‌شود و یک صدم mS/m است. علاوه بر آن توسط هدایت الکتریکی امکان بررسی میزان توازن در مواد ریز مغذی خاک و همچنین pH وجود دارد که در بعضی موارد توسط این روش می‌توان مقدار نسبی از مواد مغذی را فراهم کرد. آب خالص هادی الکتریسته نمی‌باشد، اما بیش‌تر آب‌ها، حتی آب‌های شیرین دارای مقداری کافی نمک به منظور هدایت الکتریسیته هستند. هدایت الکتریکی در انواع خاک به میزان رطوبت ذخیره شده در ذرات آن بستگی دارد؛ به عنوان مثال خاک شنی، گل‌ماسه‌ای و رسی به ترتیب رسانای الکتریکی کم، متوسط و زیادی هستند.

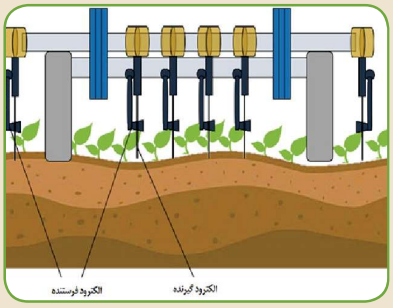
1. Electrical Conductivity (EC)
2. Cations Exchange Capacity (CEC)

حسگرهای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک

دو نوع حسگر تجاری برای اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی خاک در مزرعه وجود دارد، که از نوع تماسی و غیرتماسی هستند. اندازه‌گیری توسط هر دو نوع از این حسگرها نتایج قابل مقایسه‌ای را ارائه می‌دهد:

الف) حسگرهای اندازه‌گیری نوع تماسی

این نوع از حسگرها توسط پیش‌برهایی که به عنوان الکترود هستند، باعث تماس با خاک و اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی آن می‌شوند. در این روش دو یا سه جفت از پیش‌برها بر روی یک شاسی سوار می‌شود. یک جفت از این پیش‌برها جریان الکتریسیته را به خاک وارد می‌کند (الکترودهای انتقال‌دهنده)، در حالی که سایر پیش‌برها (الکترودهای دریافت‌کننده) اختلاف ولتاژ بین آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند. اطلاعات مربوط به هدایت الکتریک خاک به همراه اطلاعات مکانی خاک توسط یک دیتالاگر ضبط می‌شود. لازم به ذکر است اطلاعات مکانی توسط سیستم موقعیت مکان‌یاب جهانی[1] به دیتالاگر فراهم می‌شود. حسگرهای تماسی (شکل۳) برای کاربرد در کشاورزی دقیق، محبوب‌ترین نوع هستند زیرا مکان‌هایی که دارای وسعت بالایی هستند را به سرعت نقشه‌برداری کرده و کم‌ترین حساسیت را نسبت به اختلال الکترومغناطیسی بیرونی دارند. از جمله معایب حسگرهای تماسی در مقایسه با نوع غیرتماسی آن است که این نوع حسگرها برای ابعاد بزرگ کاربرد دارند و نمی‌توان از آن‌ها برای طرح آزمایش‌های کوچک و یا زمین‌های با ابعاد کم استفاده کرد (Grisso et al., 2005).

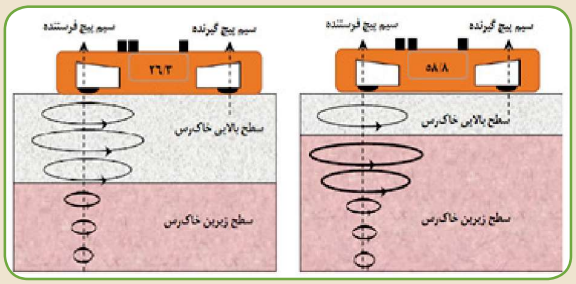


شکل ۳- اصول کار حسگرهای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از نوع تماسی

1. Global Positioning System (GPS)

ب) حسگرهای اندازه‌گیری نوع غیرتماسی

این نوع حسگرها، برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بر اساس قاعده القای جریان الکترومغناطیس[2] کاربرد دارند و با سطح خاک به صورت مستقیم در تماس نیستند. اجزای این دستگاه از ترکیب یک سیم‌پیچ فرستنده و گیرنده تشکیل شده است که در انتهای مخالف واحد نصب می‌شود. حسگری که در درون دستگاه وجود دارد، جریان حاصل از القای میدان الکترومغناطیس را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین مقاومت میدان الکترومغناطیس ثانویه متناسب با هدایت الکتریکی خاک است. این دستگاه به طور مستقیم اختلاف ولتاژ بین منبع و حسگر الکترود را اندازه‌گیری می‌کند و به منظور جلوگیری از تداخل آن بر روی یک سبد غیرفلزی سوار شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سیم‌پیچ فرستنده میدان الکتریکی را به درون خاک ارسال کرده و توانایی حمل این جریان با ویژگی‌های خاک مرتبط است (شکل۴).

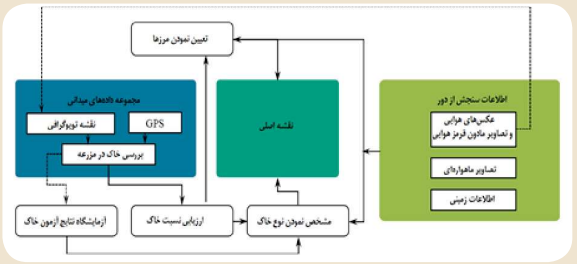


شکل۴- اصول کار حسگرهای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نوع غیر تماسی (Davis et al., 1997)

بررسی خاک

بررسی خاک مشتمل بر مجموعه‌ای از فعالیت‌های آزمایشگاهی و میدانی است که از قبل در نظر گرفته شده (شکل۵) و هدف آن شناسایی خواص فیزیکی و شیمیایی پایه خاک، توزیع این خاک‌ها در مقیاس نقشه‌ای خاص و تفسیر اطلاعات برای کاربردهای متفاوت است. بررسی خاک شامل سه فعالیت اصلی است: ۱) تحقیق، ۲) نقشه‌برداری و ۳) تفسیر داده‌ها (Dent & Young, 1981).

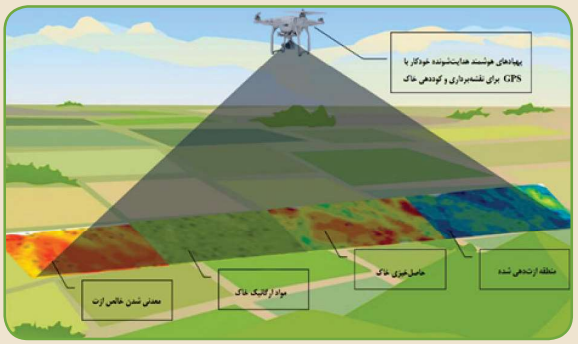
2. Electromagnetic Induction (EMI)



شکل ۵- فرآیند نمونه‌برداری از خاک

نمونه‌برداری خاک

جمع‌آوری صحیح نمونه‌های خاک مهم‌ترین گام مدیریتی در اصلاح مواد مغذی و خاک است. نمونه‌برداری خاک باید شامل شخم، تغییرات اصلاحی کود و خاک، الگوی کشت، نوع خاک و مرزهای قدیمی زمین باشد. رایج‌ترین روش برای نمونه‌برداری خاک بر پایه انواع خاک است. به منظور یافتن کیفیت سطح بالایی خاک، نمونه‌برداری معمولاً با عکس‌برداری توسط هواپیمای‌های بدون سرنشین پیشرفته انجام می‌شود (شکل۶).



شکل ۶- سنجش خاک با به‌کارگیری پهپاد/ هواپیمای بدون سرنشین

روش‌های مرسوم نمونه‌برداری خاک

مجموعه نمونه‌برداری مرکب از مزرعه به عنوان بهترین روش نمونه‌برداری محسوب می‌شود که هنوز هم توسط بسیاری از کشاورزان استفاده می‌شود. میله‌های اندازه‌گیری از مکان‌های مختلف خاک زراعی نمونه‌برداری کرده، سپس در یک نمونه با هم ترکیب می‌شوند، از مزیت‌های این روش سریع و ارزان بودن آن است. این تکنیک نمونه‌برداری منجر به کم و زیاد شدن مقدار کوددهی در زمین‌هایی با مساحت بزرگ می‌شود و به طور بالقوه از زیان‌های مالی که ناشی از اعمال مواد مغذی اضافی یا افت بازدهی در حین عملیات کوددهی می‌شود، جلوگیری می‌کند (Gelderman et al., 2006).

نمونه‌برداری خاک به روش شبکه‌ای

برای چندین دهه نمونه‌گیری از خاک برای کشاورزی به عنوان یک عمل تأیید شده مورد توجه است. نظر به فراوانی محصولات که در دنیا رشد می‌کنند، روش‌های مختلفی بدین منظور توسعه یافته است که در میان تحقیقات اولیه انجام شده در دانشگاه‌ها، "روش شبکه" جزء روش‌هایی است که در ابتدای دهه ۱۹۲۰ میلادی توسعه یافته است. روش نمونه‌برداری شبکه به منظور گرفتن نمونه‌های کوچک با فواصل یکسان در یک مساحت مشخص است که با قرار گرفتن الکترونیکی مربع‌هایی دلخواه با مساحت ۲/۵ ایکر در مزرعه انجام می‌شود. در وسط هر جفت از نمونه‌ها چهار هسته نمونه آنالیز برداشته می‌شود. در ظاهر امر به نظر می‌رسد این یک روش کافی برای جمع‌آوری اطلاعات است، هرچند در این عمل نیز معایبی وجود دارد (Randy Darr, 2018). نمونه‌برداری از خاک در اصل به منظور تطبیق میزان تفاوت غلظت مواد مغذی در مناطق مشخص از زمین است. با استفاده از این روش نمونه‌گیری سعی بر آن است با برداشتن تعدادی زیادی از نمونه‌ها به این میزان تفاوت دست یافت. اگرچه گرفتن تعداد زیادی از نمونه‌ها برای ثبت این تفاوت‌ها روشی مطمئن نیست حتی بلعکس، می‌تواند جمع‌آوری زیاداز نمونه‌ها باعث ایجاد تفاوت بیش‌تری نسبت به حالت واقعی شود.

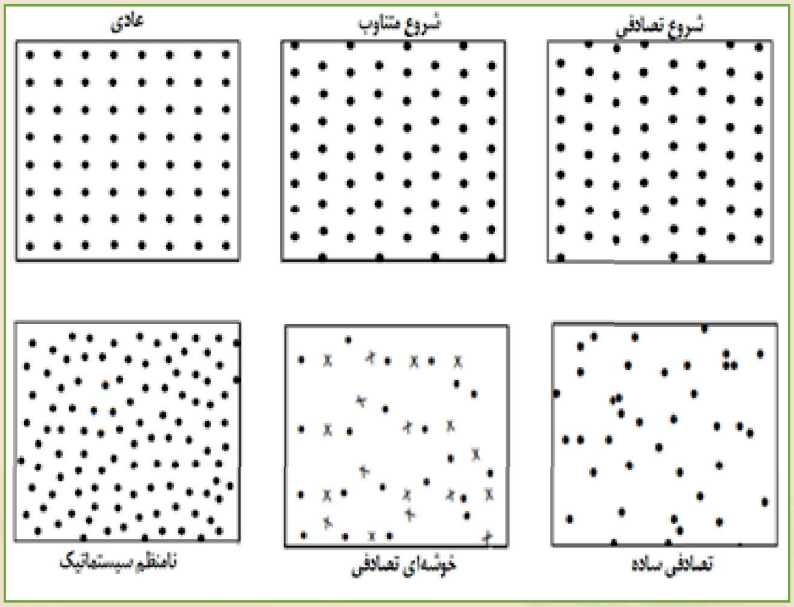
روش‌های نمونه‌برداری در یک نگاه

چندین روش نمونه‌برداری وجود دارد که توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول ۲ فهرستی از خلاصه این روش‌ها آمده است.

> **جمع‌آوری صحیح نمونه‌های خاک مهم‌ترین گام مدیرتی در اصلاح مواد مغذی و خاک است. نمونه‌برداری خاک باید شامل شخم، تغییرات اصلاحی کود و خاک، الگوی کشت، نوع خاک و مرزهای قدیمی زمین باشد.**

جدول ۲، روش‌های نمونه‌برداری خاک و ویژگی‌های مربوطه

روش‌ها	ویژگی
نمونه‌برداری مرکب	مته یا بیلچه نمونه‌برداری خاک که نمونه‌ها به صورت تصادفی از سراسر زمین زراعی انتخاب می‌شود و با هم ترکیب که در قالب یک نمونه واحد در وسط شبکه وجود دارد (شکل۷).
نمونه‌برداری نقطه‌ای	در این روش، نمونه‌ها به صورت فیزیکی با شعاعی مشخص از این نقطه بدست می‌آیند. نتایج آزمون خاک با نمونه نقطه‌ای هر یک از نمونه‌ها وابسته هستند که به منظور بدست آوردن مقادیر سایر مکان‌هایی از زمین زراعی که از آن نمونه‌گیری نشده، کاربرد دارد.
نمونه‌برداری شبکه خاک	تقسیم زمین زراعی به سلول‌هایی منظم که معمولا به شکل مربع هستند و نمونه‌ها از هر کدام از این سلول‌ها برداشته می‌شود (Mallarino, 2001). الگوهای متفاوت نمونه‌گیری وجود دارند که در روش نمونه‌گیری شبکه باید بدان توجه کرد، این روش‌ها عبارتند از: عادی، شروع متناوب، شروع تصادفی، نامنظم سیستماتیک، خوشه‌ای تصادفی و تصادفی ساده است (Franzen et al., 2011).
مدیریت منطقه نمونه‌گیری/ نمونه‌گیری به صورت مستقیم و یا هوشمند	مدیریت واقعی محدوده با استفاده از منابع متنوع تعیین می‌شود و یا مجموعه‌ای از داده‌ها که شامل نقشه خاک، اطلاعات عملکرد گذشته، سنجش از دور تصاویر، چشم‌انداز، توپوگرافی، بلندی، هدایت الکتریکی و یا دانش قبلی از ویژگی‌های زمین زراعی است.
مدیریت شبکه منطقه مخلوط شده روش نمونه‌گیری خاک	مدیریت منطقه نمونه‌برداری توسط منابع مختلف ایجاد می‌شود، این مدیریت منطقه با استفاده از نقشه پایه (مبنا) است و شبکه بر روی نقش اصلی پوشش داده می‌شود. مکان‌های نمونه‌برداری نهایی بر اساس ویژگی‌های نقشه پایه تعریف می‌شوند.
روش نمونه‌برداری تصادفی سلول مرکب	نمونه‌گیری تصادفی مرکب سلول که در بعضی مواقع نمونه‌گیری شبکه–سلول نیز نامیده می‌شود، هنگامی که مته یا بیلچه نمونه‌برداری خاک به صورت تصادفی از مکان‌هایی به اندازه سلول شبکه انجام می‌شود (شکل ۷) و یک نمونه مرکب از این نمونه‌های گرفته شده ایجاد می‌شود (Dinkins and Jones 2008).



شکل ۷- روش سلول شبکه برای نمونه‌برداری خاک

تکرار (فراوانی) نمونه‌گیری

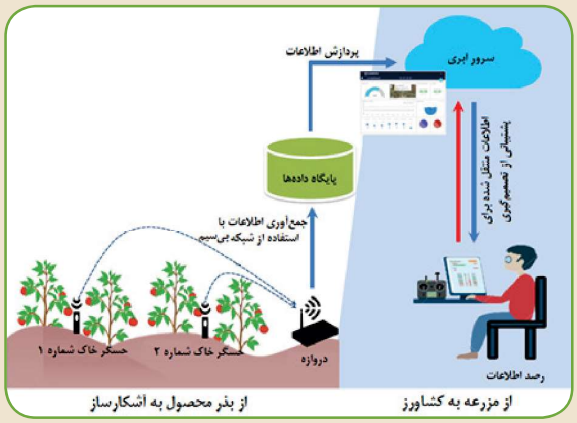
در حالت ایده‌آل تمامی مزارع باید نمونه‌برداری شوند و به صورت سالانه مورد آزمایش قرار گیرند، اما ممکن است این روش همیشه کاربردی نباشد. نمونه‌ها ممکن است از یک سری مزارع مشخص برداشته شوند و نتایج توصیه شده می‌تواند برای مدیریت سایر مزارع نمونه‌گیری نشده استفاده شود. مزارع می‌تواند در هر سال نمونه‌برداری شوند و از نمونه‌گیری که در طی سال‌ها انجام می‌شود، به منظور تعیین حاصلخیزی خاک استفاده کرد. در هر دو حالت، زمان و هزینه که با نمونه‌گیری وابسته هستند، کاهش می‌یابد. هرچند تصمیم‌گیری در خصوص مدیریت مواد مغذی ممکن است با دقت پایینی انجام شود. در جدول ۳ گزارش ویژگی آزمون خاک و اهمیت آن آمده است.

جدول ۳- گزارش ویژگی آزمون خاک و اهمیت آن (Ray, 1999)

گزارش ویژگی آزمون خاک	اهمیت آن در زراعت
pH	سطح بهینه pH خاک باعث عملکرد بهتر محصول و قابل دسترس بودن مقدار مشخصی مواد مغذی برای استفاده گیاه خواهد بود
کلسیم، منیزیم و سولفور (عناصر مغذی ثانویه)	برای رشد گیاه لازم و ضروری است اما مقادیر آن باید از مواد عناصر مغذی اولیه کم‌تر باشد
مس، منگنز و روی (ریز مغذی)	برای رشد گیاه لازم و ضروری است اما مقادیر آن باید از مواد عناصر مغذی ثانویه کم‌تر باشد
کلاس خاک	طبقه‌بندی خاک به عنوان ارگانیک، معدنی آلی یا معدنی

کاربرد اینترنت اشیا برای نمونه‌برداری خاک

با به‌کارگیری فناوری اینترنت اشیاء می‌توان سرعت جمع‌آوری اطلاعات را با استفاده از فرستنده‌های رایانش ابری و همچنین به کمک شبکه حسگر بیسیم صرف‌نظر از مکان قرارگیری کاربر کاهش داد. پتانسیل دیگر اینترنت اشیاء (شکل۸) در آزمایش خاک، پایش میزان نیتروژن به صورت در جا است. از این فناوری در باغات هوشمند برای بررسی لایه‌های خاک توسط یک گروه تحقیقاتی به منظور تشخیص سریع سطوح نیترات در املاح (شیرابه) خاک بررسی شد، که نتایج آن جلوگیری از استفاده بیش از حد کودها است و منطبق با نیاز گیاه نهاده‌های شیمیایی اعمال می‌شود (Burton et al., 2018).



شکل ۸- نمونه‌برداری از خاک با به‌کارگیری فناوری اینترنت اشیاء برای جمع‌آوری بلادرنگ اطلاعات

بدون تخریب خاک (MQTT cloud and links with Ubidots®)

نتایج

۱) استفاده از فناوری اینترنت اشیاء یکی از مهم‌ترین روش‌های نمونه‌گیری هوشمند خاک است.

۲) بکارگیری تجهیزات هوشمند نمونه‌برداری خاک، امکان بهبود شرایط نقشه‌برداری از خاک، انجام عملیات خاک‌ورزی مطلوب، تعیین میزان حاصلخیزی، فرسایش و رطوبت خاک را فراهم می‌سازد.

۳) با استفاده از تفسیر بر خط نتایج حاصل از روش هوشمند نمونه‌برداری خاک، اطلاعات کافی و منطبق با نیاز گیاه و نهادهای شیمیایی مورد نیاز آن در اختیار کشاورز قرار می‌گیرد.

منابع

1) Alberta Agriculture and Forestry (2002). Chapter 3.3-Soil Sampling. https://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/epw11920/$FILE/3-3.pdf (Last assessed September 20, 2018).

2) Burton, L., Dave, N., Fernandez, R. E., Jayachandran, K. and Bhansali, S. (2018). Smart gardening IOT soil sheets for real-time nutrient analysis, *Journal of the Electrochemical Society*, 165(8), B3157-B3162.

3) Davis, G., Kitchen, N.R., Sudduth, K.A. and Drummond, S.T. (1997). Using electromagnetic induction to characterize soils. *Better Crops*, 81(4), 6-8.

4) Dent, D. and Young A. (1981). Soil Survey and Land Evaluation. Boston: Allen and Unwin.

5) Dinkins, C.P. and Jones, C. (2008). Soil Sampling Strategies. *Montana State University Extension Publication MT200803AG*. Montana State University, USA.

6) Franzen, D.W., Clay, D. and Shanahan, J.F. (2011). Collecting and analyzing soil spatial information using kriging and inverse distance. *Eds.) DE Clay and JF Shanahan, GIS applications in agriculture: nutrient management for energy efficiency, Taylor and Francis, New York, NY, USA, 61-80.*

7) Gelderman, R., Gerwing, J. and Reitsma, K. (2006). Recommended soil sampling methods for south Dakota, USA.

8) Grisso, R.D., Alley, M.M., Holshouser, D.L. and Thomason, W.E. (2005). Precision farming tools. Soil Electrical Conductivity.

9) Hussein, J. (1997). Introduction to soil management. Module 2. University of Zimbabwe press. Harare, 67-89.

10) Jones, C. and Jacobsen, J. (2005). Plant nutrition and soil fertility. *Nutrient Management Module*, 2 (11).

11) Mallarino, A. (2001). Management zones soil sampling: a better alternative to grid and soil type sampling?

12) Randy, Darr (2018). What is Grid Soil Sampling? A Deeper Look. [https://blog.familyfarmsgroup.com/soilright/what-is-grid-soil-sampling-a-deeper-look]

13) Ray, T. (1999). Essential plant nutrients: their presence in North Carolina soils and role in plant nutritions. *NCDA & CS. Agronomic Division.*

14) Tisdale SL, Havlin JL, Beaton DB and Werner LN. (1999). Soil fertility and fertilizers. *An Introduction to Nutrient Management.* 6th edition ed. Prentice Hall New Jersey, USA, 56-107.