سنجش از نزدیک خاک، تکنیکی نوین در مطالعات علوم خاک

لیلا جهانبازی [۱]، فریدون سرمدیان [۲]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم خاک دانشگاه تهران

چکیده

خاک ها در زمان و مکان دارای تنوعات و ناهمگنی هستند. بهره‌گیری از روش های مرسوم نمونه برداری در مطالعات خاک زمان بر و هزینه بر است؛ همچنین مطالعات سنجش از دور علی رغم پوشش مکانی وسیع قادر به ارائه اطلاعات عمقی خاک نیستند. روش های سنجش از نزدیک خاک برای پرکردن شکاف اطلاعاتی بین نمونه‌برداری نقطه‌ای و مطالعات سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنجش از نزدیک به مجموعه فناوری هایی اطلاق می‌گردد که با بهره‌گیری از حسگرهای نزدیک و یا تماسی با خاک، به سنجش مستقیم و غیرمستقیم ویژگی‌های خاک می‌پردازند. تصحیح مرزهای واحد نقشه خاک، توزیع مکانی ویژگی‌های خاک و تغییر پذیری آنها در زمین‌نما از جمله موارد قابل مطالعه با سنجش از نزدیک خاک هستند.

واژه های کلیدی: روش-های مرسوم نمونه‌برداری، سنجش از دور، سنجش از نزدیک

مقدمه

خواص خاک‌ها در بازه‌های زمانی و مکانی مختلف متغیر هستند. پایش این تغییرات با روش‌های نمونه برداری مرسوم از جمله نمونه‌برداری نقطه‌ای دارای محدودیت‌هایی مانند انتخاب تعداد مناسب نمونه‌ها، حجم مناسب نمونه‌ها، پراکنش و پوشش مکانی مناسب نقاط نمونه‌برداری در سطح مورد نظر می‌باشد. به طوری‌که حتی در مقیاس‌های کوچک هم بررسی‌های مکانی و زمانی با روش‌های نمونه‌برداری نقطه‌ای هزینه‌بر و وقت‌گیر و گاهاً غیر ممکن است. تکنیک‌های سنجش دور و عکس-های هوایی با هدف کاهش هزینه‌های انجام مطالعات خاک‌شناسی پوششی استفاده شده‌اند. این تکنیک‌ها به دلیل وسعت دید سنجنده قادر به پوشش کامل سطح زمین می‌باشند اما اندازه‌گیری خصوصیات خاک به کمک آنها عمدتاً غیر مستقیم و از راه دور بوده و نیز محدود به لایه سطحی خاک (مثلاً ۵ یا ۶ سانتی‌متری) می‌شود. استفاده از سنجش از نزدیک در خاک‌شناسی اخیراً توسعه یافته است. این تکنیک با بهره‌گیری از حسگرهای نزدیک و یا تماسی با خاک، به سنجش مستقیم و غیرمستقیم ویژگی‌های خاک می‌پردازد (تقی‌زاده مهرجردی، ۱۳۹۵).

به طور کلی سه روش ژئوفیزیکی; رادار نفوذ کننده زمینی [۱] (GPR)، القای الکترومغناطیسی [۲] (EM) و مقاومت‌سنج الکتریکی [۳] (ER) که در خاک و کشاورزی بیشتر استفاده می‌شوند، برای بررسی تغییرپذیری خصوصیات خاک در موقعیت‌های خاصی از زمین‌نما و مشخص کردن اجزای مختلف خاک درون واحد نقشه بکار می‌روند (Allerd et.al., 2010 and 2008). این روش‌های ژئوفیزیکی تفاوت بین خصوصیات فیزیکی (مانند نفوذپذیری الکتریکی دی الکتریکی، هدایت یا مقاومت الکتریکی ظاهری و رفتارپذیری مغناطیسی) را برای اندازه‌گیری های غیر مستقیم در پروفیل، پایش تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، موقعیت خاک، لیتولوژی و مرزهای چینه شناسی مورد استفاده قرار می‌دهند. روش‌های EM و ER در ابتدا برای بررسی شوری خاک بکار گرفته شدند اما در قرن ۱۹۹۰، همزمان با گسترش کشاورزی دقیق [۴] کاربرد این روش‌ها در کشاورزی هم افزایش پیدا کرد (Viscarra Rossel et al., 2011).

[1] Ground Penetrating Radar
[2] Electromagnetic Induction
[3] Electrical Resistivity
[4] Precision Agriculture

رادار نفوذکننده زمینی (GPR)

GPR یک سیستم رادار است که پالس‌های کوتاه انرژی الکترومغناطیسی با فرکانس‌های بالا (از حدود ۳۰ مگا هرتز تا ۱۲گیگا هرتز) را به درون خاک و لایه زیر آنتن می‌فرستد. وقتی این امواج با حد فاصل بین لایه های با دی الکتریک متفاوت برخورد می‌کنند، بخشی از انرژی به سمت آنتن موج گیر بازتاب می‌شود که هر چه تفاوت دی الکتریک بیشتر باشد، میزان انرژی بازتابی نیز بیشتر خواهد بود. آنتن گیرنده انرژی بازتاب شده را بعنوان تابعی از زمان ثبت می‌کند. این روش برای شناسایی مرز بین لایه‌های با مقادیر متفاوت رطوبتی و همچنین برای تعیین موقعیت منافذی که با آب یا هوا پر شده‌اند مناسب است. از مهمترین عوامل محدود کننده روش GPR هدایت الکتریکی بالای محیط است. هدایت الکتریکی زمین بر اثر عواملی نظیر: میزان رطوبت، نمک های محلول در خاک، درصد رس، محتوای کلسیم کربنات و کلسیم سولفات کنترل می‌شود. سرعت بالا، اقتصادی بودن و اندازه‌گیری پیوسته از مزایای عمده این روش می‌باشد.

از رادارا برای مطالعه خاک در شمال فلوریدا استفاده شد که انعکاسات قوی به دلیل ناگهانی بودن مرزهای بالایی افق‌های اسپودیک و آرجیلیک و بنابراین تباین بیشتر مشاهده گردید. نهایتاً حضور و تفاوت عمق این دو افق برای شناسایی خاک مورد بررسی قرار گرفت. همچنین رادار بطور گسترده‌ای در اراضی پیت برای تخمین ضخامت و حجم رسوبات پیتی، شناسایی لایه-های با درجه هومیفیکاسیون متفاوت، جرم مخصوص ظاهری، میزان رطوبت حجمی، شناسایی رسوبات معدنی تحتانی، چینه-شناسی، هیدرولوژی، بررسی ارتباط آن‌ها با پوشش گیاهی موجود، طبقه‌بندی و نقشه‌برداری خاک‌های آلی استفاده شده است (Doolittle and Butnor 2008).

القای الکترومغناطیسی (EM)

این تکنیک مشتمل بر استفاده از سنجنده هدایت الکتریکی زمینی[5] (شامل یک سیم پیچ فرستنده و یک یا چند سیم پیچ گیرنده که در فاصله معین از یکدیگر قرار دارند) است. سیم پیچ فرستنده الکترومغناطیسی حلقه‌های متناوب و دواری از جریان الکترومغناطیسی را در خاک القا می‌کند که اندازه هریک از حلقه‌های جریان بطور مستقیم متناسب با هدایت الکتریکی خاک اطراف آن حلقه است. هر حلقه جریان یک میدان الکترومغناطیسی ثانویه ایجاد می‌نماید که اندازه این میدان وابسته به مقدار جریانی است که بین حلقه‌ها وجود دارد. بخشی از میدان الکترومغناطیسی ثانویه در اطراف هر حلقه، توسط سیم پیچ گیرنده دستگاه دریافت می‌گردد. تمامی سیگنال‌های دریافت شده پس از تقویت شدن به مقدار ولتاژ خروجی تبدیل می‌گردند. ولتاژ خروجی دستگاه بصورت خطی وابسته به مقادیر هدایت الکتریکی در اعماق مختلف نیمرخ بوده و اصطلاحاً گفته می‌شود که این مقادیر بصورت وزنی وابسته به عمق می‌باشند و آن‌ها را با ECa نمایش می‌دهند (Greenhouse and Saline, 1983). ECa هدایت الکتریکی ظاهری توده‌ای از خاک است که بصورت دیجیتال و با واحدمیلی زیمنس برمتر نشان داده می‌شود (McNeill, 1980). از آنجایی که EMI نیاز به تماس مستقیم با زمین ندارد، جمع‌آوری داده سریع، راحت و ارزان است و این موضوع باعث می‌شود تعداد نمونه و سطح تحت پوشش بیشتری نسبت به روش‌های مرسوم مطالعات خاک داشته باشیم. از محدودیت-های این روش; غیر مستقیم، نیمه کمی و مربوط به یک مکان مشخص بودن نتایج است. همچنین شرایط آب و هوایی (مثل افزایش مغناطیس از طریق رعد و برق) و مواد فلزی نیز ممکن است ایجاد خطا کند.

EMI برای اندازه‌گیری غیر مستقیم تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات خاک مانند شوری، بافت، ظرفیت تبادل کاتیونی، ترکیبات یونی، مقدار کربنات کلسیم، مقدار رطوبت، مقدار کربن آلی، عناصر غذایی در دسترس گیاه، واکنش خاک، جرم مخصوص ظاهری و ساختمان بکار برده شده است (Doolittle and Brevik, 2014). همچنین امروزه نقشه‌های ECa به عنوان یکی از ارزشمندترین روش‌های اندازه‌گیری تغییرات مکانی خصوصیات خاک در مقیاس لنداسکیپ و مزرعه هستند (Luck et.al,2009).

[5] Ground Conductivity Meters or GCM

مقاومت‌سنج الکتریکی (ER)

این روش میزان مقاومت خاک هنگامی که یک جریان الکتریکی برقرار شده است را نشان می‌دهد. ER با استفاده از قانون اهم، مقدار جریان الکتریکی برقرار، اختلاف پتانسیل و یک فاکتور ژئومتریک که تابعی از فاصله یا فضای بین الکترودها است، محاسبه می‌گردد. این تکنیک به دو زیر شاخه تقسیم می‌شود که در یکی جریان از طریق اتصال مستقیم به زمین وارد می‌شود و در دیگری جریان از طریق یک سری خازن وارد خاک می‌شود. بطور کلی هر دو روش مقاومت الکتریکی ظاهری را اندازه-گیری می‌کنند، که با معکوس کردن آن هدایت الکتریکی ظاهری خاک حاصل می‌گردد.

ER بصورت غیر مستقیم برای اندازه‌گیری تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، ساختمان خاک، تشخیص مسیر جریان ترجیحی و مانیتور کردن تغییرات زمانی توزیع آب خاک بکار می‌رود و همچنین اجازه توصیف مرز انواع خاک‌ها وخصوصیات آن‌ها را می‌دهد(Samouelian et.al., 2005).

مگنومتری [۶] (MT)

مگنومتری یک روش سنجش دوری است که اندازه میدان مغناطیسی بخش خاصی از زمین که سنسور در آن قرار دارد را ثبت می‌کند. مگنومتر ممکن است بصورت زمینی، هوایی، ماهواره‌ای یا زیرزمینی باشد. مطالعات مغناطیسی نتایج موفقیت آمیزی در مطالعه خاک‌های غنی از آهن داشته‌اند، که مؤکد کارایی این روش برای شناسایی خاک‌های آنتروپوژنیک است(Rogers et al., 2005).

رفتارپذیری مغناطیسی [۷] (MS)

این تکنیک مبنی بر اندازه‌گیری میزان مغناطیسه شدن مواد، هنگامی که در یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند، است. میزان رفتارپذیری مغناطیسی خاک‌ها وابسته به شکل، اندازه و میزان تجمع کانی‌های با مغناطیسه قوی (کانی‌های فرومگنتیت مانند مگنتیت، مگهمیت، تیتانومگنتیت و پیروتیت) است و اساساً تحت تأثیر مواد مادری، سن خاک، بافت، در هم آمیختگی خاک، هوادیدگی، اضافه شدن مواد خصوصاً توسط بشر، واکنش خاک، میزان مواد آلی خاک و رطوبت می‌باشد (Maier et al., 2006; Grimley et al.,2004; Mullins, 1977).

در جاهایی که ویژگی‌های مغناطیسی تباین کافی داشته باشند، ارتباط رفتارپذیری مغناطیسی با فرآیندهای پدوژنیکی(Fine et al., 1989)، گلی شدن(Vadyunina and Babanin, 1972)، موقعیت شیب(De Jong et al., 2000)، کلاس زهکشی و بافت خاک(Grimley et al., 2004)، فعالیت بشر(Dalan and Banerjee, 1996) و آلودگی‌های صنعتی (Fialová et al., 2006; Magiera et al., 2006) آشکار می‌گردد.

آشکارساز اشعه ایکس قابل حمل [۸] (P-XRF)

این روش از فوتون‌های اشعه ایکس با انرژی بالا جهت جداسازی الکترون از لایه‌های داخلی اتم‌ها استفاده می‌کند. کنده شدن الکترون‌ها سبب ایجاد فضای خالی و ناپایداری می‌شود. الکترون‌های لایه های خارجی برای پر کردن این فضای خالی به لایه‌های داخلی می آیند که این فرآیند سبب انتشار اشعه ایکس و بنابراین انرژی می‌گردد. هر عنصری دارای انتشار خاص خود است که این امر سبب شناسایی و کمی کردن عناصر مختلف می‌گردد. پراش پرتو ایکس بطور موثری برای شناسایی فلزات در خاک‌های آلوده مورد استفاده قرار گرفته است (Dao et al., 2012; Weindorf et al., 2012b). همچنین برای بهبود بخشیدن به تعاریف مورفولوژیکی خاک، تفکیک افق‌های خاک بر اساس تجمع عناصر مختلف و کمی کردن مقدار کلسیم و گچ در خاک‌های گچی غرب تگزاس نیز استفاده شد (Weindorf et al. 2012a and 2009).

---

[6] Magnetometry
[7] Magnetic Susceptibility
[8] Portable X-Ray Fluorescence

انعکاس سنجی بازه زمانی[9] (TDR)

برای اندازه‌گیری مقدار آب خاک و هدایت الکتریکی بکار می‌رود. مقدار آب و هدایت الکتریکی به ترتیب از طریق اندازه-گیری نفوذپذیری دی الکتریکی وتغییرات و یا میرایی سیگنال بدست می‌آیند (Jones et al., 2002). یک هادی موج با طول مشخص به درون خاک فرستاده شده و زمان سپری شده جهت تولید یک پالس الکترومغناطیسی اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از مدل‌های تجربی یا مدل‌های ترکیبی دی الکتریکی این زمان سپری شده به سرعت پخش پالس تبدیل می‌گردد. سرعت پخش برای تعیین نفوذپذیری دی الکتریکی ظاهری خاک که از میزان رطوبت حجمی آب قابل استنتاج است، بکار می‌رود. برخی از مزایای کاربرد آن، تخمین دقیق مقدار حجمی رطوبت خاک (بدون کالیبراسیون خاصی برای خاک)، نیاز به کمترین میزان کالیبراسیون برای اکثر خاکها ، نبود خطرات استفاده از تشعشعات، رزولوشن بالای زمانی و مکانی ، اندازه گیری راحت و آسان می‌باشد (Jones et al. 2002).

انعکاسات اپتیکی[10]

سنسورهای نوری جهت تعیین توانایی خاک برای انعکاس نور در قسمت های مختلف طیف الکترومغناطیسی بکار می روند. سنسورهای نوری نزدیک اساساً شبیه سیستم های سنجش دور هستند. حسن آنها این است که در سطح و زیر زمین بکار می روند. سیستم های سنجش اپتیکالی محدوده ی طول موج های ماوراء بنفش (۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر)، نور مرئی(۴۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر)، مادون قرمز نزدیک(۷۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) و مادون قرمز میانی (۲۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰ نانومتر)را پوشش می دهند. نتایج بدست آمده از کاربرد سنسورهای اپتیکی را می توان به برخی خصوصیات خاک مانند ترکیبات معدنی خاک ، مقدار رس، رنگ خاک، رطوبت، کربن آلی، واکنش خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی ارتباط داد (Viscarra Rossel et al., 2009). طیف نور مرئی و ماوراء بنفش برای شناسایی کانی های غیر آلی مانند اکسیدهای آهن مورد استفاده قرار گرفتند (Islam et al., 2003).

طیف سنج اشعه گاما[11]

اشعه گاما انرژی زیادی دارد و از بین منابع مصنوعی و طبیعی بیشترین مقدار نفوذ را دارد. در این روش میزان تشعشع اشعه گاما در برابر انرژی هر فوتون اندازه‌گیری می‌شود. سنسورها می‌توانند پسیو یا اکتیو باشند. سنسورهای اکتیو گاما از منابع رادیواکتیو مانند سزیم ۱۳۷ استفاده می‌کنند. سنسورهای پسیو انرژی فوتون‌هایی که بطور طبیعی از ایزوتوپ‌های عناصر رادیواکتیو منتشر می‌شوند اندازه می‌گیرند (Wang et al., 1975).

برهم کنش‌های مکانیکی[12]

سنسورهای مکانیکی ساده هستند که برای تخمین میزان مقاومت مکانیکی خاک استفاده شده‌اند و میزان مقاومت خاک در برابر شکسته شدن را اندازه می‌گیرند (Hemmat and Adamchuk, 2008). یک سنسور مکانیکی وقتی وارد خاک می‌شود به دلیل نیرویی که وارد می‌کند سبب شکستگی خاک می‌گردد. معمولاً مقاومت مکانیکی خاک با واحد فشار و به عنوان تابعی از نیروی مورد نیاز برای نفوذ در خاک و سطح مقطع ابزار نفوذی در نظر گرفته می‌شود. اولین قدم برای این روش اندازه‌گیری نیروی افقی و گاهاً نیروی عمودی مورد نیاز برای نفوذ در عمق خاصی می‌باشد. اندازه‌گیری‌های انجام شده وابسته به موارد متعددی از جمله; نوع وشکل ابزار مورد استفاده، سرعت نفوذ، عمق نفوذ و وضعیت سطح خاک می‌باشند. معمولاً برای بررسی ارتباطات در خاک و کشاورزی از سنسورهای مکانیکی آکوستیک و پنوماتیک استفاده می‌شود. سنسورهای آکوستیک برای تعیین بافت خاک و یا چگالی ظاهری، از طریق اندازه گیری تغییرات ایجاد شده در میزان صدا یا نویز، در اثر برخورد با ذرات

[9] Time Domain Reflectometry
[10] Optical Reflectance
[11] Gamma-Ray Spectroscopy
[12] Mechanical Interactions

خاک استفاده می‌شوند. سنسورهای پنوماتیک برای نفوذ هوا در خاک استفاده می‌شوند. میزان نیروی مورد نیاز جهت ورورد حجم معینی از هوا به درون عمق مشخصی از خاک با ویژگی‌های مختلفی از خاک مانند ساختمان خاک و تراکم مقایسه می-گردد.

خاصیت گزینش یون[13] (ISE)

سنسورهای مرسوم در شیمی محلول که برای یافتن مقادیر یون‌های شیمیایی خاص و ترکیبات آنها بکار می‌روند، عناصر غذایی قابل دسترس خاک و واکنش خاک که مهم‌ترین اطلاعات برای کشاورزی دقیق هستند را می‌دهند. اندازه-گیری‌ها معمولاً براساس کاربرد یک الکترود انتخابی برای یک یون است. این سنسورها فعالیت یون‌های معینی را در مرز بین یک غشا با محیط آبی یا محلول خاک و یا نمونه‌ای که به طور طبیعی خیس است، اندازه می‌گیرند.

ارتعاش[14]

امواج ارتعاشی معمولاً نوسانات ارتجاعی هستند که در خاک و سنگ گسترش می‌یابند. منابع مصنوعی انرژی آکوستیک، ارتعاشی، فشاری و احتراقی برای تولید این امواج و انتشار آنها در خاک قابل استفاده هستند. در روش‌های ژئوفیزیکی ارتعاشی که انرژی آنها بصورت مصنوعی تأمین می‌گردد، نوسانات موجی ارتعاشات، افزایش انرژی و زمان سپری شده برای رسیدن امواج ارتعاشی تولید شده از منبع انرژی به سنسورهای زیر سطحی که ژئوفن نامیده می‌شوند اندازه‌گیری می‌شود. منبع انرژی معمولاً روی سطح زمین و یا در عمق کم قرار دارد اما ژئوفن‌ها در زیر سطح زمین قرار دارند. داده‌های اندازه‌گیری شده (زمان و نوسانات موجی ارتعاشات) برای تعیین وضعیت و خصوصیات زیر زمین استفاده می‌شوند. مطالعات آزمایشگاهی روی امواج صوتی ۲ تا ۷ کیلوهرتز وجود ارتباط بین سرعت امواج ارتعاشی و ویژگی‌های خاک مانند تراکم خاک، تخلخل خاک و مقدار آب خاک را تأیید کرده است و میزان جذب امواج آکوستیک با مقدار آب خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک همبستگی معنی داری داشت (Oelze et al., 2002; Lu et al., 2004). همچنین از شکست ارتعاشی برای تعیین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و عمق سنگ بستر در ویرجینیا استفاده شد و اظهار شد که این روش نمی‌تواند خصوصیات پروفیل خاک را تعیین کند (Olson and Doolittle 1985).

نتایج و بحث

بطور کلی سنجش از نزدیک خاک شامل ابزارهایی است که هر کدام قادر به اندازه‌گیری خصوصیت خاصی از خاک می-باشد. به عنوان مثال رادار برای تعیین رطوبت خاک، القای الکترومغناطیسی برای تعیین هدایت الکتریکی خاک، مقاومت-سنجی برای تعیین مقاومت خاک، پراش اشعه ایکس برای اندازه‌گیری و تعیین عناصر خاک، تکنیک خاصیت گزینش یونی برای اندازه‌گیری فعالیت یونی، انعکاس سنجی بازه زمانی برای اندازه‌گیری مقدار آب خاک، مادون قرمز نزدیک و میانی برای اندازه‌گیری میزان کربن خاک و کانی‌شناسی رس، برهم کنش‌های مکانیکی برای تخمین میزان مقاومت مکانیکی خاک، ارتعاشات برای برای وضعیت و خصوصیات زیر زمین استفاده می‌گردد. دلیل اصلی استفاده از سنجش نزدیک رفع مشکلات استفاده از تکنیک سنجش دور و روش‌های مرسوم نمونه برداری است. در این تکنیک سنجنده می‌تواند در نزدیکی یا در تماس مستقیم با زمین باشد و ویژگی مورد نظر را بدون نمونه‌برداری مورد سنجش قرار می‌دهد. از مزایای عمده این روش سهولت در جمع‌آوری تعداد زیادی داده مکانی خاک با صرف کمترین وقت، هزینه و نیروی انسانی است. نکته قابل توجه این است که این تکنیک قابلیت رقابت با روش‌های آزمایشگاهی را ندارد و امکان وجود خطا در اندازه‌گیری‌ها وجود دارد اما به دلیل نزدیکی آن به خصوصیت مد نظر آن هم در شرایط طبیعی و بدون دست خوردگی خاک حائز اهمیت است و پیش‌بینی می‌گردد که در آینده استفاده از در مطالعات علوم خاک فراگیرتر شود .

[13] Ion-Selective Potentiometry
[14] Seismic (S)

منابع

تقی زاده مهرجردی، ر.۱۳۹۵. مباحث نوین در علوم خاک. انتشارات دانشگاه اردکان.

Allred B.J., Ehsani M.R. and Daniels J.J. 2008. General considerations for geophysical methods applied to agriculture. In B.J. Allred, J.J. Daniels, and M.R. Ehsani (eds.) Handbook of Agricultural Geophysics, pp. 3–16. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.

Allred B.J., Freeland R.S., Farahani H.J. and Collins M.E. 2010. Agricultural geophysics: Past, present, and future. In Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, SAGEEP 2010, pp. 190-202.

Dalan R.A. and Banerjee S.K. 1996. Soil magnetism, an approach for examining archaeological landscapes. Geophysical Research Letters, 23(2):185-188.

Dao L., Morrison L. and Zhang C. 2012. Bonfires as a potential source of metal pollutants in urban soils, Galway, Ireland. Applied Geochemistry, 27: 930-935.

De Jong E., Pennock D.J. and Nestor P.A. 2000. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. Catena, 40: 291-305.

Doolittle J.A., and Brevik E.C. 2014. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. Geoderma 223-225: 33-45.

Doolittle J.A. and Butnor J.R. 2008. Soils, peatlands, and biomonitoring. In H.M. Jol (ed.) Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, pp.179-202 (Chapter 6). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Fialová H., Maier G., Petrovský E., Kapička A., Boyko T. and Scholger R. 2006. Magnetic properties of soils from sites with different geological and environmental settings. Journal of Applied Geophysics
, 59: 273-283.

Fine P., Singer M.J., La Ven R., Verosub K. and Hubbard R.J. 1989. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two California chronosequences. Geoderma, 44: 287-306.

Greenhouse J.P. and Slaine D.D. 1983. The use of reconnaissance electromagnetic methods to map contaminant migration. Ground Water Monitoring Review, 3(2): 47-59.

Grimley D.A., Arruda N.K. and Bramstedt M.W. 2004. Using magnetic susceptibility to facilitate more rapid, reproducible and precise delineation of hydric soils in the Midwestern USA. Catena, 58: 183-213.

Hemmat A. and Adamchuk V.I. 2008. Sensor systems for measuring spatial variation in soil compaction. Computers and Electronics in Agriculture, 63(2): 89-103.

Islam K., Singh B. and McBratney A. 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra- violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. Australian Journal of Soil Research, 41(6): 1101-1114.

Jones S.B., Wraith J.M. and Or D. 2002. Time domain reflectometry measurement principles and Applications. Hydrological Processes, 16: 141–153.

Lu Z., Hickey C.J. and Sabatier J.M. 2004. Effects of compaction on the acoustic velocity in soil. Soil Science Society of America Journal, 68: 7-16.

Lück E., Gebbers R., Ruehlmann J. and Sprangenberg U. 2009. Electrical conductivity mapping for precision farming. Near Surface Geophysics, 7(1): 15-25.

Magiera T., Strzyszcz Z., Kapička A. and Petrovský E. 2006. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. Geoderma, 130: 299-311.

Maier G., Scholger R. and Schön J. 2006. The influence of soil moisture on magnetic susceptibility measurements. Journal of Applied Geophysics, 59: 162-175.

McNeill J.D. 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical Note TN-6. Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada.

Mullins C.E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science: A review. Journal of Soil Science, 28: 223-246.

Oelze M.L., O'Brien W.D. and Darmody R.G. 2002. Measurement of attenuation and speed of sound in soils. Soil Science Society of America Journal, 66: 788-796.

Olson C.G. and Doolittle J.A. 1985. Geophysical techniques for reconnaissance investigations of soils and surficial deposits in mountainous terrain. Soil Science Society of America Journal, 49(6): 1490-1498.

Rogers M.B., Cassidy J.R. and Dragila M.I. 2005. Ground-based magnetic surveys as a new technique to locate subsurface drainage pipes: A case study. Applied Engineering in Agriculture, 21: 421-426.

Samouëlian A., Cousin I., Tabbagh A., Bruand A. and Richard G. 2005. Electrical resistivity survey in soil science: A review. Soil & Tillage Research, 83: 173–193.

Vadyunina A.F. and Babanin V.F. 1972. Magnetic susceptibility of some soils in the U.S.S.R. Soviet Soil Science, 4: 588-599.

Viscarra Rossel R.A., Adamchuk V.I., Sudduth K.A., McKenzie N.J. and Lobsey C. 2011. Proximal soil sensing: An effective approach for soil measurements in space and time, Chapter 5. Advances in Agronomy, 113: 237-283.

Viscarra Rossel R.A., Cattle S.R, Ortega A. and Fouad Y. 2009. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by Vis-NIR spectroscopy. Geoderma, 150(3-4): 253-266.

Wang C.H., Willis D.L. and Loveland W.D. 1975. Radiotracer methodology in the biological environmental and physical sciences. Prentice-Hall Biological Science Series, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Weindorf D.C., Zhu Y., Ferrell R., Rolong N., Barnett T., Allen B.L., Herrero J. and Hudnall W. 2009. Evaluation of portable X-ray fluorescence for gypsum quantification in soils. Soil Science, 174(10): 556-562.

Weindorf D.C., Zhu Y., Haggard B., Lofton J., Chakraborty S., Bakr N., Zhang W., Weindorf W.C. and Legoria M. 2012a. Enhance pedon horizonation using portable X-ray fluorescence spectrometry. Soil Science Society of America Journal, 76(2): 522-531.

Weindorf D.C., Zhu Y., Chakraborty S., Bakr N., Zhang W. and Huang B. 2012b. Enhance use of portable X-ray fluorescence spectrometry for environmental quality assessment of peri-urban agriculture. Environmental Monitoring and Assessment, 184: 217-227.

Proximal Soil Sensing, Modern Technique in Soil Study

L. Jahanbazi [1], F. Sarmadian[2]
Phd student Soil Science Dept., Univ. of Tehran[1], Prof. Soil Science Dept., Univ. of Tehran[2]

Abstract

Soil properties vary in space and time. Using traditional soil survey tools to soil study is time-consuming and expensive. Remote sensing can provide an excellent spatial coverage but measurements are limited to soil surface. Therefore proximal soil sensing is being used to fill in the data gap that exists between point data and remote sensing data. Proximal soil sensing is a collection of technologies that employ a sensor close to or in direct contact with the soil to directly or indirectly measure a soil property. It can be used to refine the boundaries of soil map unit delineations and documenting spatial distribution of soil properties and their variability in landscape.

Keywords: Proximal Soil Sensing, Remote Sensing, Traditional Soil Survey Tools.