سنجش از نزدیک خاک و کاربردهای آن در سنجش ویژگی های خاک و نقشه برداری آن

شمس اله ایوبی
استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

شناخت ویژگی‌ها، رفتار و توزیع انواع خاک در گستره زمین‌نما برای استفاده مؤثر، مدیریت و حفاظت از حیاتی‌ترین منبع، ضروری است. از آنجا که خاک جزء جدایی‌ناپذیر بسیاری از فرآیندهای فیزیکی و اکولوژیکی است، اطلاعات خاک به طور فزآینده برای ورودی مدل‌های اکولوژیکی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و مدل‌های محیطی دیگر مورد نیاز است. با توجه به اینکه خاک در بعد زمانی و مکانی تغییرپذیری زیادی دارد، همچنین روش‌های مرسوم نمونه‌برداری خاک یک فرآیند وقت‌گیر و هزینه‌بر هستند و مشاهدات عموماً پراکنده هستند، و بخش بسیار بزرگ از پیوستگی خاک در زیر سطح مشاهده نمی‌شود. به دلیل این محدودیت‌ها، روش‌های جایگزین در حال بررسی هستند، که پوشش جامع‌تر و بهبود ارزیابی ویژگی‌های خاک را فراهم کنند. با توجه به این محدودیت‌ها، این روش‌ها، باید نسبتاً سریع، دقیق و ارزان باشند، که تکنیک‌های سنجش از دور و سنجش نزدیک خاک بسیار امیدوارکننده هستند. روش‌های سنجش از نزدیک به مجموعه فناوری‌هایی اطلاق می‌گردد که با بهره‌گیری از حسگرهای نزدیک و یا تماسی با خاک، به سنجش مستقیم و غیرمستقیم ویژگی‌های خاک می‌پردازند. از مزایای عمده این روش سهولت در جمع‌آوری تعداد زیادی داده مکانی خاک با صرف کمترین وقت، هزینه و نیروی انسانی است. از مهم ترین تکنیک های رایج سنجش از نزدیک می توان به کاربرد اشعه های ایکس، گاما ، طیف های مادون قرمز و میانی و رادار و القای مغناطیسی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک و نقشه برداری آن اشاره کرد.

واژه های کلیدی: خاک، روش‌های مرسوم نمونه‌برداری، سنجش از نزدیک خاک

مقدمه

ویژگی‌های خاک در بازه‌های مکانی و زمانی مختلف بسیار متغیر هستند. بررسی این تغییرات در مقیاس‌های مختلف مانند مزرعه، حوضه آبخیز و یا مقیاس‌های ملی، نیازمند سازوکارهای مختص به خود دارند. در سطوح کوچک نظیر مزرعه می‌توان این تغییرات را از طریق روش‌های متداول و سنتی بررسی نمود. پایش ویژگی‌های خاک اعم از بررسی‌های مکانی و یا زمانی توسط روش‌های متداول، از نظر عملی فرآیندی وقت‌گیر، پرهزینه و گاهی اوقات غیرممکن هستند. به همین دلیل تقاضا برای تهیه اطلاعات مفید خاک با صرف کمترین هزینه و بیشترین کیفیت، در حال افزایش بوده وهست. این مسائل سبب شده که همه‌روزه سنجنده‌ها و یا تکنیک‌های جدید به عرصه تحقیقات خاک دنیا معرفی گردند، تا کارهای صحرایی و آزمایشگاهی متداول را ارتقاء بخشند. در این زمینه، تکنیک‌های سنجش از دور[1] و سنجش از نزدیک[2] را می‌توان نام برد، که از سال‌ها پیس با هدف تامین اطلاعات مفید خاک، در مطالعات خاکشناسی استفاده شده و اکنون نیز به وفور کاربرد دارند. از محدودیت‌های تکنیک‌های سنجش از دور این است که اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک به کمک آن‌ها، عمدتاً غیرمستقیم و از راه دور بوده و نیز محدود به لایه سطحی خاک (۵ یا ۶ سانتی‌متر) می‌شود. علاوه براین، ممکن است که قدرت تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده، منطبق بر تغییرات مکانی ویژگی‌های مدنظر خاک، به‌ویژه در مقیاس‌های کوچک مزرعه‌ای نباشد. به همین دلیل، تکنیک‌های سنجش از نزدیک نیز همراه با تکنیک‌های سنجش از دور توسعه یافتند تا خلاءهای موجود در روش‌های نمونه‌برداری و همچنین قدرت تفکیک مکانی پائین داده‌های سنجش از دور را پر نمایند (Allred et. al., 2008).

[1]. Remote sensing
[2]. Proximal sensing

سنجش از نزدیک به‌طور کلی شامل مجموعه‌ای از ابزارها و روش‌هایی است که سنجنده در نزدیکی سطح زمین و یا در تماس مستقیم با سطح زمین قرار می‌گیرد، تا خصوصیت مدنظر خاک را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم مورد سنجش قرار دهد. البته باید اذعان کرد که ظهور تکنیک‌های سنجش از نزدیک، مدیون تحقیقات آزمایشگاهی بوده و برای واسنجی آن‌ها، عمدتاً از نتایج آزمایشگاهی کمک گرفته می‌شود (Rossel et. al., 2011).

سنجش از نزدیک خاک[1] را به اختصار PSS نیز می‌نامند. به استناد تحقیقات صورت گرفته توسط راسل و همکاران (۲۰۱۱) این تکنیک مشتمل بر ابزارهای مختلفی است، که هر یک دارای کارایی عمومی و یا منحصر به‌فردی در پایش ویژگی‌های از خاک بوده، که در بخش‌های کشاورزی و یا منابع طبیعی به نوبه خود حائز اهمیت می‌باشند. نحوه کارکرد و تفاوت‌های موجود در این ابزارها، عمدتاً به دامنه طیفی امواج الکترومغناطیس هر یک از آن‌ها برمی‌گردد. به عنوان نمونه، برای تشخیص تغییرات مکانی و ماده مادری خاک از امواج رادیومتری گاما[2]، برای اندازه‌گیری و تعیین عناصر خاک از تکنیک‌های مبتنی بر اشعه ایکس[3] (XRF و XRD) و یا لیزر[4] (LIBS)، برای اندازه‌گیری میزان کربن خاک و کانی‌شناسی رس از مادون قرمز نزدیک[5] (NIR) و میانی[6] (MIR)، برای تعیین رطوبت خاک از رادار[7] (GPR)، برای تعیین دمای خاک از دماسنج (ترمومتر) مادون قرمز و نهایتاً برای تعیین الکتریکی خاک از تکنیک القای الکترومغناطیس[8] (EMI) استفاده می‌شود.

نخستین گزارش‌ها از بکارگیری ابزاهای PSS مربوط به دهه ۱۹۲۰ میلادی است، که برای تعیین فشردگی خاک مورد استفاده قرار گرفته است. این ابزارها به مرور زمان توسعه یافته و تکمیل‌تر از گذشته شده‌اند، به‌طوری که در ۳۰ سال اخیر، پیشرفت‌های چشمگیری در این زمینه حاصل شده است. لازم به ذکر است که برخی از این ابزارها، هنوز در مرحله تحقیقاتی و تکمیلی قرار داشته و جایگاه تجاری چندانی پیدا نکرده‌اند. اما با توجه به روند رو به رشد این تکنیک‌ها، علاقه‌مندی متخصصان به این ابزارها و افزایش نیازها برای بررسی ویژگی‌های مختلف خاک، انتظار می‌رود که، استفاده از آن‌ها در آینده فراگیرتر و کم‌هزینه‌تر از شرایط کنونی گردد. از این بین، ابزارهای EMI، NIR، GPR و XRD بیشترین کاربرد را در سال‌های اخیر داشته‌اند.

انواع سنجنده‌های PSS

برای تقسیم‌بندی انواع سنجنده‌های PSS معیارها و دیدگاه‌های مختلفی در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان بر مبنای وضعیت قرارگیری سنجنده از لحاظ تماس یا عدم تماس با خاک این تقسیم‌بندی را صورت داد، که به ترتیب با عناوین تماسی[9] و غیر تماسی[10] شناخته می‌شوند. سنجنده‌های تماسی، به درون خاک رفته و اصطلاحاً به صورت درجا[11] اندازه‌گیری می‌کنند. گروهی نیز می‌توانند داخل یک چاله در خاک قرار گیرند، یا حتی بر روی گمانه های[12] گرفته شده از خاک به کار روند که اصطلاحاً به این سنجنده‌ها غیردرجا[13] گفته می‌شود.

اگر دسته‌بندی سنجنده‌های PSS براساس منبع تامین انرژی آن‌ها صورت گیرد به دو گروه فعال[14] و غیرفعال[15] قابل تقسیم هستند. سنجنده‌های فعال، انرژی لازم برای اندازه‌گیری‌ها را به کمک منبع تغذیه مصنوعی تامین می‌کنند، در حالی‌که

---

1. Proximal soil sensing
2. γ Radiometric
3. X ray fluorescence and X ray diffractometry
4. Laser induced breakdown spectroscopy
5. Near infrared
6. Middle infrared
7. Ground penetrating radar
8. Electromagnetic induction
9. Invasive
10. Noninvasive
11. In situ
12. Soil Core
13. Ex situ
14. Active
15. Passive

سنجنده‌های غیرفعال، انرژی مورد نیاز را از تشعشعات خورشید یا زمین دریافت می‌کنند. همچنین از نظر نحوه کارکرد برروی سطح زمین، سنجنده‌ها به دو صورت ثابت[1] (ایستگاهی) و سیار[2] (همراه) می‌باشند. سنجنده‌های ثابت، اندازه‌گیری‌ها را در حالت سکون انجام می‌دهد، در حالی‌که سنجنده سیار، در حال حرکت نیز اقدام به اندازه‌گیری و ثبت پارامترهای مدنظر خاک می‌نماید.

سنجنده‌های PSS سیار عمدتاً برای بررسی‌های کوچک مقیاس خاک کاربرد دارند، که در مبحث کشاورزی دقیق، جایگاه ویژه و کاربردی دارند. علاوه‌براین، می‌توان سنجنده‌های PSS را از لحاظ روش تشخیص ویژگی‌های مورد نظر خاک، به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم دسته‌بندی کرد. چنانچه اندازه‌گیری آن ویژگی بر پایه یک فرآیند فیزیکی انجام گردد گفته می‌شود که این سنجنده به صورت مستقیم قادر به تشخیص و اندازه‌گیری ویژگی مورد نظر در خاک می‌باشد. اما چنانچه اندازه‌گیری‌های سنجنده PSS اصولاً مرتبط با ویژگی مدنظر نبوده و همانند ویژگی‌های توابع انتقالی و به صورت غیرمستقیم، به ویژگی مدنظر خاک تبدیل گردد، این سنجنده در زمره سنجنده‌های غیرمستقیم قرار خواهد گرفت.

با توجه به آن چه که در مورد سنجش از نزدیک خاک گفته شد، دلیل استفاده از این تکنیک‌ها در علوم خاک را می‌توان در سهولت جمع‌آوری حجم زیادی از داده‌های مکانی خاک، با صرف کمترین هزینه و نیروی انسانی دانست. البته باید اذعان نمود که احتمالاً از نظر دقت، با روش‌های متداول آزمایشگاهی رقابت نمایند و ممکن است دارای مقداری خطا و انحراف در اندازه‌گیری‌ها باشند. اما همانطوری که قبلا در مورد PSS گفته شد، سنجنده‌های مذکور در مجاورت و یا در تماس کامل با خاک مزرعه، قرار می‌گیرند. بنابراین می‌توانند ویژگی‌های خاک را در شرایط واقعی حاکم بر مزرعه، حتی بدون دست‌خوردگی فیزیکی خاک سنجش نمایند. همین موضوع می‌تواند نقطه قوت و عامل برتری نسبی PSS نسبت به تکنیک‌های سنجش از دور و همچنین تجزیه‌های آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی نمونه دست‌خورده خاک محسوب می‌گردد (Alelrd et al., 2008; Rossel et al., 2010; 2011).

از سنجنده های مهم به کار گرفته شده می توان به سنسورهای الکتریکی اشاره کرد که مهمترین آن تکنیک (time-domain reflectometry)TDR است. این تکنیک سالهاست که به طرز موفقیت آمیزی در اندازه گیری رطوبت خاک استفاده شده است. و دقت ان به میزان ۰/۰۲ مترمکعب بر مترمکعب گزارش شده است. از نمونه دیگر سنسورها می توان به سنسور LIBS(Laser induced breakdown spectroscopy) اشاره کرد. که این سنسور در سال ۲۰۰۷ توسط گهل و رایس توسعه پیدا کرد تا به صورت تماس نزدیک با خاک مقدار کربن آلی خاک را به روش طیف سنجی انتشار اتمی اندازه گیری کند که با توجه به پرهزینه بودن آن خیلی مورد استقبال قرار نگرفته است.

تکنیک رادار نفوذی زمین(GPR)

یکی از جدیدترین روش‌های ژئوفیزیکی غیرمخرب که امروزه کاربرد وسیعی در بسیاری از زمینه‌های کاوش‌های زیرسطحی دارد، روش امواج رادار نفوذی زمین می‌باشد. اصطلاح رایج بین‌المللی این روش به GPR معروف است که مخفف عبارت Ground Penetrating Radar می‌باشد. رادار نفوذی زمین با نام‌های دیگری مانند رادار زمینی، رادار کاوش‌گر زمینی و یا رادار سطحی نیز نامیده می‌شود. این فناوری در طی سه دهه اخیر مطرح و گسترش داده شده است. GPR در اوایل، عمدتاً برای مواد طبیعی زمین‌شناسی به‌کار برده می‌شد. در حال حاضر GPR به خوبی در موارد دیگر مانند مطالعات چوب، بتن و آسفالت کاربرد دارد. وجود محیط‌های دی‌الکتریک پراتلاف (رسانا) متعدد در ترکیب با دامنه وسیعی از فرکانس رادیویی، منجر به طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی GPR شده است.

مهم‌ترین کاربرد GPR در موارد زیر است:

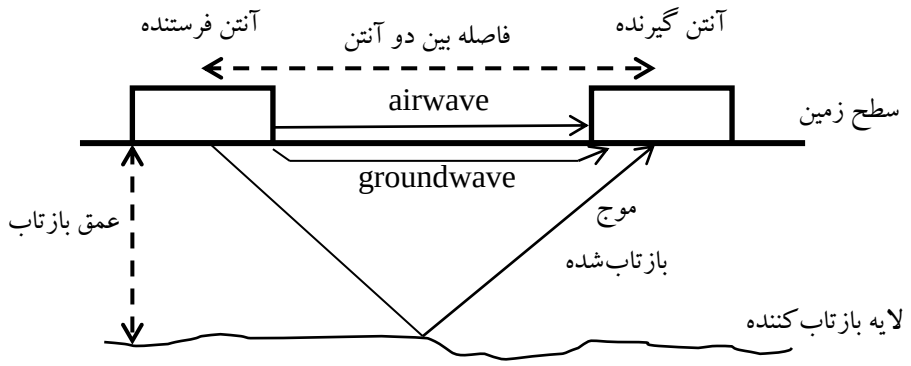
۱. زمین‌شناسی مهندسی در بررسی ساختگاه محل سد، یافتن موقعیت کانال‌ها و تونل‌های مدفون، تعیین موقعیت نشست‌های احتمالی در مسیر جاده‌ها و ریل‌های راه آهن و...

[1]. Stationary
[2]. Mobile

۲. محیط زیست، تعیین سطح ایستابی و تهیه نقشه مناطق آلوده
۳. زمین‌شناسی و اکتشاف معادن کم عمق، تعیین ضخامت خاک‌های سطحی و یا ضخامت آبرفت‌ها، تعیین ضخامت یخ
۴. سایر کاربردها مانند مطالعات باستان‌شناسی و نظامی.

GPR یکی از روش‌های با قدرت تفکیک ژئوفیزیکی است که توسط امواج الکترومغناطیسی فرکانس بالا تغییرات ویژگی‌های الکتریکی را در اعماق کم آشکارسازی می‌کند. امواج الکترومغناطیسی ساطع شده توسط دستگاه GPR در برخورد با ناپیوستگی‌های الکتریکی به واسطه تغییر در گذردهی محیط در دو طرف فصل مشترک، بازتاب می‌شوند. توان بازتاب از فصل مشترک‌های مختلف به اندازه منطقه گذر[1] وابسته است. منطقه گذر فاصله‌ای است که در آن ثابت گذردهی نسبی (ε) محیط تغییر می‌کند. یعنی هر چه این منطقه کوچک‌تر باشد و تغییرات ناگهانی‌تر باشد بازتاب قوی‌تری خواهیم داشت. موج بازتابیده از این فصل مشترک توسط دستگاه GPR قابل آشکارسازی است. عمق نفوذ این روش تابعی از فرکانس استفاده شده و ویژگی‌های الکتریکی (گذردهی نسبی و رسانایی الکتریکی) محیط برداشت است. در حالت کلی هرچه رسانایی الکتریکی زمین بیشتر باشد (مانند محیط‌های شیلی و رسی) عمق نفوذ کمتر و هرچه رسانایی الکتریکی زمین کمتر باشد، (مانند محیط‌های آهکی و خشک) عمق نفوذ بیشتر می‌شود. همچنین هرچه فرکانس بالاتر باشد عمق نفوذ کمتر و هرچه فرکانس پایین‌تر باشد، عمق نفوذ بیشتر است. بنابراین فرکانس آنتن، مقدار رطوبت، مقدار رس، شوری و حضور اکسیدهای آهن در خاک تأثیر قابل توجهی بر نفوذ رادار دارند. دستگاه GPR زمان رسیدن رویدادها را اندازه‌گیری می‌کند. از این رو بازتاب از ساختارهای زیرسطحی به صورت تابعی از زمان نشان داده می‌شود. برای این که رویدادهای بازتابی پاسخ درستی از عمق ساختارهای زیرسطحی باشند، مقادیر ثبت‌شده زمانی بایستی به عمق صحیح‌شان نسبت داده شوند. این تبدیل با استفاده از توزیع سرعت امواج GPR در ساختارهای زیرسطحی صورت می‌گیرد (Allred et al., 2008; Barry et al., 2008).

GPR یک روش ژئوفیزیکی است که با استفاده از انرژی الکترومغناطیسی با فرکانس مرکزی بین ۵۰ و ۱۲۰۰ مگاهرتز، زیر سطح را به تصویر می‌کشد. انرژی الکترومغناطیسی از آنتن پخش می‌شود، و به وسیله اختلاف در ضریب دی‌الکتریک (ε) و نفوذپذیری مغناطیسی (μ) مواد زیرسطح تغییر می‌کند. از آنجا که اکثر خاک‌ها دارای تغییرات ناچیز در نفوذپذیری مغناطیسی هستند، تأثیر قابل توجهی در پاسخ GPR دارد. برخی از انرژی الکترومغناطیسی به طور مستقیم ازآنتن فرستنده به آنتن گیرنده از طریق هوا عبور می‌کند و به عنوان airwave شناخته شده است. بخشی از انرژی انتقالی، به عنوان groundwave شناخته شده، از طریق خاک به همراه رابط زمین و هوا به آنتن گیرنده پخش شده و بخشی از انرژی انتقالی از تضاد گذردهی دی‌الکتریک زیرسطحی به آنتن گیرنده منعکس می‌شود (شکل ۱). به طور معمول بازتاب‌های راداری قوی، توسط لایه‌های خاک که دارای مرزهای ناگهانی و مواد خاکی متضاد هستند، تولید می‌شود. این لایه‌ها اغلب با مرز افق‌های خاک مطابقت دارند. تضاد بین افق‌های خاک اغلب با تفاوت در رطوبت، ویژگی‌های فیزیکی (بافت و چگالی ظاهری) و یا شیمیایی (کربن آلی، کربنات کلسیم و سزکویی اکسیدها) همراه است.



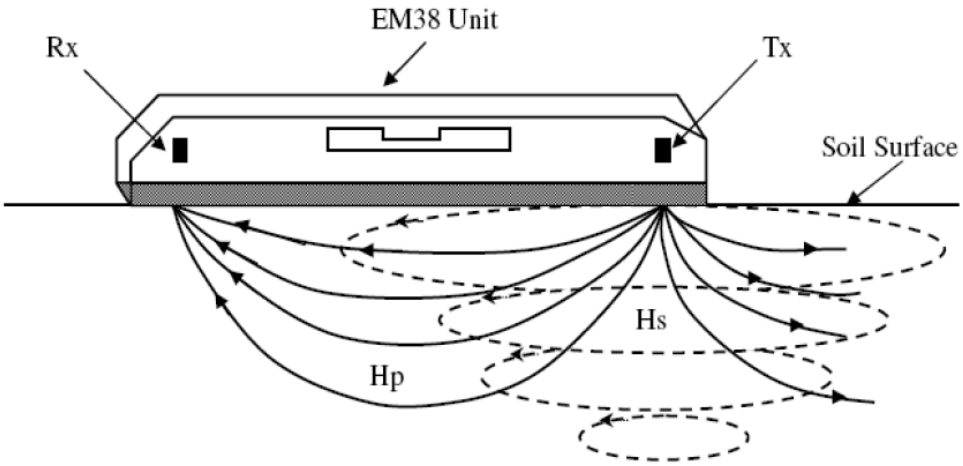
شکل ۱- دیاگرام شماتیک آنتن‌های GPR وانرژی airwave، groundwave و بازتابی

[1]. Transition zone

از توانایی GPR، ارائه زمان واقعی، وضوح بالا، لایه‌بندی، تصاویر مقطعی از زیرسطح که یک روش منحصر به فرد است. به این ترتیب، آن را در میان تمام تکنیک‌های ژئوفیزیک نزدیک به سطح بی‌نظیر و مسلماً، یکی از محبوب‌ترین ابزار غیرمخرب بررسی ویژگی‌های زیرسطحی، برای مهندسین، باستان‌شناسان و زمین‌شناسان است. همچنین رادار بطور گسترده‌ای در اراضی پیت برای تخمین ضخامت و حجم رسوبات پیتی، شناسایی لایه‌های با درجه هومیفیکاسیون متفاوت، جرم مخصوص ظاهری، میزان رطوبت حجمی، شناسایی رسوبات معدنی تحتانی، چینه‌شناسی، هیدرولوژی، بررسی ارتباط آن‌ها با پوشش گیاهی موجود، طبقه‌بندی و نقشه‌برداری خاک‌های آلی و معدنی، تعیین عمق و تشخیص افق‌های سیمانی و سنگ بستر، تخمین رطوبت و رس خاک، عمق تا سطح ایستایی استفاده شده است (Doolittle and Butnor 2008).

تکنیک القای الکترومغناطیس

القای الکترومغناطیسی (EMI) تکنیکی است که رسانایی الکتریکی ظاهری (ECa) را به‌وسیله القا و سپس تشخیص جریان الکتریکی در خاک اندازه‌گیری می‌کند. تکنیک EMI مقرون به صرفه است و در حال استفاده گسترده، با توجه به ماهیت غیرمخرب، پاسخ سریع و سهولت ترکیب آن با وسائل نقلیه است. روش القای الکترومغناطیس، رسانایی الکتریکی (یا مقاومت الکتریکی) خاک را به‌طور مستقیم در زیر سطح اندازه‌گیری می‌کند. یک ابزار به نام رسانایی‌سنج زمین، معمولاً برای پژوهش‌های القای الکترومغناطیسی نسبتاً کم عمق به‌کار گرفته شده است. در عمل، جریان الکتریکی متناوب از طریق یکی از دو سیم‌پیچ الکتریکی کوچک که در روی زمین یا در فاصله کمی از زمین قرار دارند عبور می‌کند. جریان اعمال‌شده، تولید میدان الکترومغناطیسی در اطراف سیم‌پیچ فرستنده می‌کند، که بخشی از میدان الکترومغناطیسی به زیرسطح گسترش می‌یابد. این میدان مغناطیسی، به نام میدان اولیه، باعث یک جریان الکتریکی متناوب به درون زمین می‌شود، که تولید یک میدان الکترومغناطیسی ثانویه می‌کند. بخشی از میدان ثانویه به سطح و هوا برمی‌گردد. سیم‌پیچ دوم به عنوان گیرنده، اندازه‌گیری دامنه باقیمانده و مؤلفه فاز هر دو میدان اولیه و ثانویه عمل می‌کند. دامنه و فاز، اختلاف بین میدان اولیه و میدان برآیند هستند و سپس امتداد فاصله بین سیم‌پیچ‌ها، برای محاسبه رسانایی الکتریکی ظاهری خاک (یا مقاومت الکتریکی) استفاده می‌شود (Doolittle and Brevik 2014 ;De Jong et al., 1979).



شکل ۲- دیاگرام شماتیک میدان مغناطیسی اولیه و ثانویه ازدستگاه EM38 هنگامی که در جریان است. Tx، Rx، Hp، Hs و دایره خط‌چین به ترتیب سیم‌پیچ فرستنده، سیم‌پیچ گیرنده، میدان مغناطیسی اولیه، میدان مغناطیسی ثانویه و حلقه جریان

در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰، کارشناسان شروع به بررسی استفاده از EMI برای اندازه‌گیری شوری خاک کردند. ارزیابی شوری خاک نشان‌دهنده یکی از مؤلفه‌های مهم در بخش مدیریت کشاورزی و استراتژی تخصیص آب است. شوری خاک بیش از اندازه می‌تواند کاهش عملکرد محصول، آلودگی آب‌های زیرزمینی و ضرر و زیان مالی قابل توجهی را

نتیجه دهد. توانایی تشخیص و بررسی شرایط شوری در مقیاس مزرعه به طور قابل توجه با استفاده از تکنیک القای الکترومغناطیسی بهبود یافته است. سه نوع ابزار قابل حمل (پرتابل) برای اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی ظاهری خاک توسعه یافته است: (۱) سنسور چهار الکتروده، از جمله پروب‌های الحاقی، (۲) حسگرها القاء الکترومغناطیسی (EM)، مانند Geonics،EM-31، EM-34 و EM-38 و (۳) سنسورهای TDR (Doolittle and Brevik 2014).

ECa هدایت الکتریکی ظاهری توده‌ای از خاک است که بصورت دیجیتال و با واحد میلی 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 محدودیت‌های 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 استفاده شده است (Doolittle and Brevik, 2014). همچنین امروزه نقشه‌های ECa به عنوان یکی از ارزشمندترین روش‌های اندازه‌گیری تغییرات مکانی خصوصیات خاک در مقیاس زمین‌نما و مزرعه هستند (Luck et al., 2009).

پذیرفتاری مغناطیسی

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، درهم آمیختگی خاک، هوادیدگی، اضافه شدن مواد خصوصاً توسط بشر، واکنش خاک، میزان مواد آلی خاک و رطوبت می‌باشد. هچنین در جاهایی که ویژگی‌های مغناطیسی تباین کافی داشته باشند، ارتباط رفتارپذیری مغناطیسی با فرآیندهای پدوژنیکی، گلی شدن، موقعیت شیب، کلاس زهکشی و بافت خاک، فعالیت بشر و آلودگی‌های صنعتی آشکار می‌گردد (Ventura and Nearing 2002).

پذیرفتاری مغناطیسی یا قابلیت مغناطیسی‌شدن، کمیتی است که میزان مغناطیسه شدن یک جسم در یک میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد. این کمیت به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\kappa = M/H$$

در معادله بالا، M میزان مغناطیس‌پذیری جرمی جسم بر حسب آمپر بر متر، H شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر بر متر و κ پذیرفتاری مغناطیسی حجمی است. این معادله بدون واحد است. پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند برحسب واحد جرمی نیز بیان گردد، که بر این اساس به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\chi \text{ mass} = \kappa/\rho$$

در این معادله، ρ چگالی ظاهری جسم بر حسب kg/m^3 و χmass پذیرفتاری مغناطیسی جرمی برحسب m^3/kg می‌باشد (Mullins, 1977).

رفتارهای مغناطیسی

بطور کلی پنج رفتار مغناطیسی در میان مواد مختلف مشاهده می‌شود:

۱. دیا مغناطیس: مواد دیامغناطیس به وسیله‌ی میدان مغناطیسی رانده می‌شوند. در این مواد الکترون‌ها به صورت جفت بوده و اتم‌ها دارای گشتاور مغناطیسی دائمی نیستند. پذیرفتاری مغناطیسی (χ) چنین موادی منفی و خیلی پایین می‌باشد. البته این رفتار در تمام مواد وجود دارد، و هنگامی ظاهر می‌شود که رفتار پارامغناطیسی آن‌ها ضعیف باشد. تقریباً تمام گازها (به‌جزء اکسیژن) و همچنین آب، نقره، طلا، مس، الماس، گرافیت، بیسموت و بسیاری ترکیبات آلی رفتار دیامغناطیسی دارند.

۲. *پارامغناطیس*: دوقطبی‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی پارامغناطیسی دارای جهت‌گیری مشخص و منظمی نیستند و در جهت‌های کاتوره‌ای قرار دارند. در نتیجه این مواد خاصیت مغناطیسی ندارند. اگر آن‌ها را درون یک میدان مغناطیسی (مثلاً نزدیک یک آهنربا) قرار دهیم، دوقطبی‌های کوچک مانند عقربه‌های مغناطیسی در نزدیکی آهنربا رفتار می‌کنند، یعنی در راستای خطوط میدان مغناطیسی منظم می‌شوند. هرچه میدان مغناطیسی قوی‌تر باشد، تعداد بیشتری از این دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک با میدان هم‌راستا می‌شوند. در نتیجه، خاصیت مغناطیسی ماده بیشتر می‌شود. اگر آهنربا را از این مواد دور کنیم، دوقطبی‌های مغناطیسی دوباره به سرعت به وضعیت کاتوره‌ای که در غیاب میدان داشتند، بر می‌گردند. این مواد در خارج از خطوط میدان به سرعت خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند. بنابراین، مواد پارامغناطیس در میدان‌های مغناطیسی قوی خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند. منگنز، پلاتین، آلومینیم، فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی، اکسیژن و اکسید ازت از جمله مواد پارامغناطیس هستند.

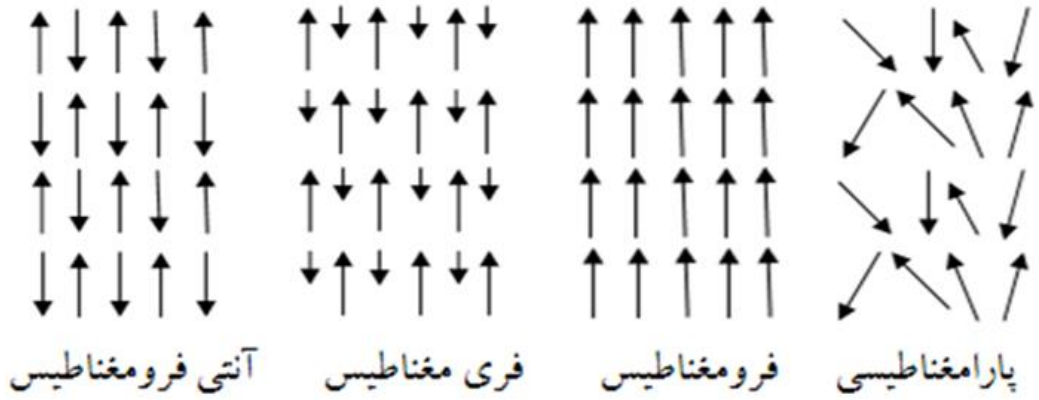
۳. *فرومغناطیس*: در برخی از مواد مغناطیسی، دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک به طور خود به خود با دوقطبی‌های مجاور خود هم‌راستا می‌شوند. این‌گونه مواد را فرومغناطیس می‌نامند. در عمل، همه‌ی بخش‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی فرومغناطیس در یک راستا قرار ندارند، بلکه این گونه مواد از بخش‌های بسیار کوچکی با ابعاد خیلی کم‌تر از میلی‌متر تشکیل شده‌اند، به‌طوری‌که دوقطبی‌های مغناطیسی درون هر بخش به طور کامل، هم‌خط هستند. ولی جهت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی هر بخش با بخش‌های مجاور آن متفاوت است. هر بخش را یک حوزه‌ی مغناطیسی می‌نامند.

ممکن است جهت‌گیری و اندازه‌ی حوزه‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی فرومغناطیس به گونه‌ای باشد که در کل اثر یکدیگر را خنثی کنند و ماده در مجموع، آهنربا نباشد. این گونه مواد را می‌توان با قرار دادن در یک میدان مغناطیسی آهنربا کرد. اثر میدان مغناطیسی خارجی بر حوزه‌های مغناطیسی باعث می‌شود که دوقطبی‌های مغناطیسی هر حوزه تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گرفته و جهت آن‌ها به جهت میدان خارجی متمایل شود. علاوه بر این، حوزه‌هایی که نسبت به میدان در وضع مناسبی قرار دارند (با میدان هم راستا هستند) رشد می‌کنند؛ یعنی، حجم آن‌ها زیاد می‌شود و در نتیجه، حوزه‌هایی که جهت‌گیری آن‌ها نسبت به میدان مناسب نیست کوچک می‌شوند، بنابراین مرز بین این حوزه‌ها جابه‌جا می‌شود، و در نتیجه ماده در مجموع خاصیت آهنربایی پیدا می‌کند. پذیرفتاری مغناطیسی این مواد مثبت و عمدتاً در دامنه ۱۰۰۰۰×۱۰^{-۸} تا ۵۰۰۰۰×۱۰^{-۸} متر مکعب بر کیلوگرم است. آهن، کبالت، نیکل و چندین عنصر قلیایی خاکی جزء مواد فرومغناطیس می‌باشند. خاصیت مغناطیسی این مواد، به سرعت تغییر مسیر این حوزه‌ها و قرار گرفتن در جهت میدان بستگی دارد.

۴. *آنتی‌فرومغناطیس*: در مواد آنتی‌فرومغناطیس گشتاورهای مغناطیسی مجاور به صورت موازی، برابر و غیرهم‌راستا جهت‌گیری می‌کنند. این مواد در خارج از میدان مغناطیسی دارای گشتاور صفر می‌باشند از این رو با وجود اینکه این نوع مواد دارای الکترون‌های جفت نشده در اوربیتال‌های اتمی هستند، اما در دمای معمولی یا در دمای پایین‌تر، خواص مغناطیسی محسوسی از خود نشان نمی‌دهند. این مواد منحصراً بصورت جامد بلوری هستند مانند ترکیبات فلزهای واسطه، کروم، منگنز و اکسیدهای آن‌ها جزء مواد آنتی‌فرومغناطیس می‌باشند.

۵. *فری‌مغناطیس*: فری‌مغناطیس یک شکل خاص از آنتی‌فرومغناطیس است که در آن گشتاورهای مغناطیسی در جهت موازی و عکس یکدیگر قرار گرفته‌اند، ولی با یکدیگر برابر نیستند و به صورت کامل یکدیگر را حذف نمی‌کنند. همان آنتی فرومغناطیس است با این تفاوت که خاصیت مغناطیسی حوزوی کاملاً خنثی نشده است.

در مقیاس ماکروسکوپی، مواد فری‌مغناطیس مثل فرومغناطیس بوده و دارای حالت مغناطیسه شوندگی خود به خودی در زیر دمای گذار بوده و دارای منحنی پسماند می‌باشند. فریت‌های نرم با فرمول شیمیایی MO.Fe2O3 (M=Fe) و فریت‌های سخت با فرمول شیمیایی MO.6Fe2O3 (M=Pb, Ba, Sr) مثال‌هایی از مواد فری‌مغناطیس هستند. شکل ۳ دیاگرام نمادین گشتاورهای مغناطیسی در چهار نوع ماده مغناطیسی را نشان می‌دهد (Grimley et al., 2004 ;Fialová et al., 2006)



شکل ۳- گشتاورهای مغناطیسی در چهار نوع ماده مغناطیسی

پذیرفتاری مغناطیسی در خاک

آهن چهارمین عنصر فراوان پوسته زمین پس از اکسیژن، سیلیسیم و آلومینیم با میزان ۵/۶ درصد می‌باشد و متوسط مقدار آن در خاک ۳/۸ درصد تخمین زده شده است و تقریباً در هر نوع خاکی یافت می‌شود. در خاک، اکسیدهای آهن در اثر واکنش‌های فیزیکوشیمیایی تشکیل می‌گردند و در طبقه بندی جزء کانی‌های فرعی خاک قرار می‌گیرند. اکسیدهای آهن که دارای ساختاری هشت وجهی می‌باشند، در حقیقت کلوئیدهایی با بار متغیر می‌باشند. بدین معنی که بار سطحی آنها توسط پارامترهایی که با محلول خاک در ارتباط می‌باشند، تعیین می‌گردد (Cullity. and Graham, 2009).

پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند به عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری اجزاء آهن‌دار در مواد و شناخت نوع مواد و مقدار کانی‌های آهن‌دار استفاده شود و حتی کمترین ذرات مغناطیسی در توده‌ها هم به سرعت با این روش اندازه‌گیری می‌شود. آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی شامل ذرات بسیار ریزی هستند که مغناطیس بالایی دارند. اثرات مغناطیس این ذرات آلوده در لایه‌های (در محدوده عمق ۲۰ سانتی‌متری) خاک به کمک اندازه‌گیری‌های مناطیسی سنجیده می‌شوند و بنابراین پذیرفتاری مغناطیسی مواد آلوده می‌تواند معیاری از درجه آلودگی باشد. باوجود فاکتورهای بسیاری که برای بررسی تغییرات قابلیت مغناطیسی خاک وجود دارد، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی خاک یک روش قابل اطمینان، کارآمد و مؤثر برای مطالعه آلودگی خاک به عناصر کمیاب می‌باشد و تاکنون مطالعات زیادی در زمینه اندازه‌گیری فلزات سنگین و همبستگی آن‌ها با پذیرفتاری مغناطیسی در گردوغبار، رسوبات دریاها و دریاچه‌ها و خاک‌های مناطق مختلف در جهان صورت گرفته است. همچنین از کاربرد این تکنیک می‌توان به تخمین میزان فرسایش و رسوب خاک، تخمین رس خاک نیز اشاره کرد (Ventura and Nearing 2002; Lu et al., 2007).

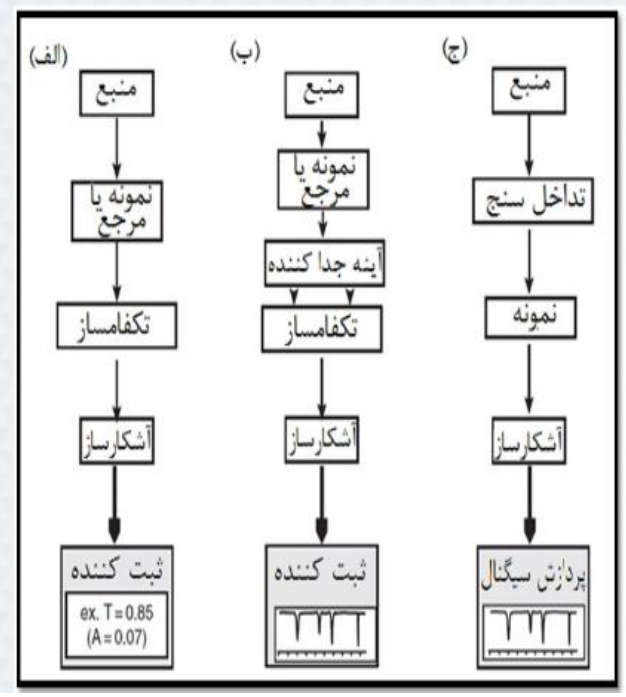
در راستای جنبه های کاربردی پذیرفتاری مغناطیسی، این تکنیک برای مطالعات فرسایش خاک و توزیع مجدد خاک نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است و توانسته است به خوبی توزیع مجدد خاک را در سطح لنداسکیپ پیش بینی نماید. از نمونه این مطالعات می توانی به مطالعات مختاری کرچگانی و همکاران (۲۰۱۱)، رحیمی آشجردی و همکاران (۲۰۱۲)، ایوبی و همکاران (۲۰۱۳) در نواحی مختلف زاگرس اشاره کرد.

طیف سنجی انعکاسی مرئی- مادون نزدیک

استفاده از طیف‌سنجی انعکاسی مرئی- مادون نزدیک در دو دهه اخیر توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. این رشد چشمگیر به علت اطلاعات زیادی است که طیف‌ها با خود به همراه دارند. به علاوه، توسعه آمار چند متغیره و تکنیک‌های داده‌کاوی باعث افزایش کاربرد این روش در علوم خاک و کشاورزی شده است. از مهمترین مزایای تکنیک طیف‌سنجی مرئی- مادون قرمز نزدیک این است که این روش غیرمخرب، سریع، ارزان، دارای حداقل آماده‌سازی نمونه و بدون ضرر و تخریب برای محیط زیست می‌باشد (Guerrero et al., 2010)

به تهیه منحنی بازتاب پدیده یا پدیده‌های مورد نظر در محدوده‌ای از طول موج‌های مشخص طیف‌سنجی گویند. طیف‌سنجی می‌تواند به دو شکل زمینی (Field) و تصویری (Imaging) صورت گیرد. در هر دو حالت طیف‌سنجی انرژی الکترومغناطیسی گسیل شده از یک منبع نور به پدیده برخورد نموده، بخشی از آن منعکس، قسمتی جذب و بخشی دیگر عبور داده می‌شود. بنابراین طیف‌سنجی یک نوع اندازه‌گیری کمّی انعکاس، جذب یا عبور است. اسپکترورادیومترها برای این اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. تقریباً تمام ترکیباتی که پیوند کووالانسی دارند، اعم از آلی یا معدنی فرکانس‌های متفاوتی از اشعه الکترومغناطیس در محدوده مادون قرمز را جذب می‌کنند. جذب تابش مادون قرمز با تغییر انرژی در حدود ۲ تا ۱۰ کیلو کالری بر مول همراه است و فرکانس‌های ارتعاشی کششی و خمشی پیوند کووالانسی اکثر مولکول‌ها را شامل می‌گردد. تمام پیوندهای موجود در مولکول قادر به جذب انرژی مادون قرمز نیستند و تنها آن دسته از پیوندهایی که دارای گشتاور قطبی هستند قادر به جذب اشعه مادون قرمز بوده و پیوندهای متقارن نظیر اشعه مادون قرمز را جذب نمی‌کنند. هر پیوند دارای H_2 اشعه ادون قرمز را جذب نمی‌کنند. هر پیوند دارای فرکانس ارتعاش طبیعی خاصی است، بنابراین هیچ دو مولکولی با ساختمان متفاوت طیف مشابهی در محدوده مادون قرمز ندارند. بنابراین، به لحاظ ویژگی‌های خاص ترکیب مولکولی و ساختار خاص، پدیده مورد نظر رفتار طیفی منحصری را ایجاد می‌کند. به‌همین دلیل، به رفتار طیفی در این ناحیه از طیف الکترومغناطیس اثرانگشت طیفی نیز می‌گویند (Islam et al., 2003; Guerrero et al., 2011)

به طور کلی دستگاه‌های مادون قرمز را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی نمود: اولین و پر کاربردترین نوع، دستگاه‌های تبدیل فوریه یا FT-IR هستند که قادرند کل محدوده طیفی را با استفاده از سیستم تداخل‌سنج (Interferometer) به طور همزمان به نمونه تابانده و سپس آن را تجزیه و تحلیل نمایند. مابقی دستگاه‌ها در گروه دوم قرار می‌گیرند که از جمله مهمترین آن‌ها می‌توان به دستگاه‌های تک پرتویی با تکفامساز (Monochromator) ثابت و همچنین دستگاه‌های پاشنده (Dispersive) اشاره کرد. نمودار بلوکی این سه نوع دستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است. دستگاه‌های طیف سنج تبدیل فوریه عموما از تداخل سنجی به نام تداخل سنج مایکلسون (Michelson-type) یا ابزارهای مشابه استفاده می‌نمایند. همچنین این دستگاه‌ها مجهز به ریز پردازنده‌هایی برای تجزیه و تحلیل طیف‌ها می‌باشند. در حالیکه دسته دوم از فیلترها و تکفامسازهای ساخته شده برای ناحیه مورد مطالعه استفاده می‌کنند



شکل ۴- نمودار بلوکی دستگاه‌های مورد استفاده در طیف‌سنجی مادون قرمز. (الف) دستگاه تک پرتویی با تکفامساز ثابت، (ب) طیف‌سنج پاشنده با طراحی دو پرتویی و (ج) دستگاه تبدیل فوریه تک پرتویی

در تحقیقات از روش طیف سنجی مرئی – مادون قرمز نزدیک به منظور تعیین ویژگی های خاک استفاده شده است، که می‌توان به تخمین مقدار کربن آلی خاک، اسیدیته خاک و مقادیر منیزیم، پتاسیم، فسفر و درصد رس، اکسیدهای آهن و کربنات های خاک اشاره کرد (Schneider and Young et al., 1998; Debaene et al., 2010; Rossel et al., 2009).

نتیجه‌گیری

بطور کلی سنجش از نزدیک خاک شامل ابزارهایی است که هر کدام قادر به اندازه‌گیری خصوصیت خاصی از خاک می‌باشد. به عنوان مثال رادار نفوذی زمین برای تعیین رطوبت خاک، عمق خاک، القای الکترومغناطیسی برای تعیین هدایت الکتریکی خاک، مادون قرمز نزدیک و میانی برای اندازه‌گیری میزان کربن خاک و کانی‌شناسی رس استفاده می‌گردد. دلیل اصلی استفاده از سنجش نزدیک رفع مشکلات استفاده از تکنیک سنجش از 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 دهد. 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 استفاده از این تکنیک در مطالعات علوم خاک در آینده فراگیرتر شود .

منابع

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.

Ayoubi, S., M. Ahmadi, M. R. Abdi, and F. Abbaszadeh Afshar. 2012. Relationships of 137Cs inventory with magnetic measures of calcareous soils of hilly region in Iran. *Journal of Environmental Radioactivity 112. 45-51*.

Barry, A.J., Jefrrey J.D. and Ehsani M.R. 2008. Handbook of agricultural geophysics. Taylor and Francis Group. 410p.

Cullity, B. D. and Graham C. D. 2009. Introduction to magnetic material. IEEE Press. 550p.

De Jong, E., Ballantyne A.K., Caneron D.R. and Read D.W. 1979. Measurement of apparent electrical conductivity of soils by an electromagnetic induction probe to aid salinity surveys. Soil Science Society American Journal, 43: 810–812.

Debaene, G., Niedźwiecki J. and Pecio A. 2010. Visible and near-infrared spectrophotometer for soil analysis: preliminary results. Pol. J. Agronom. 3: 3–9.

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.

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

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.

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.

Guerrero, C., Viscarra Rossel R. A. and Mouazen A. M. 2010. Diffuse reflectance spectroscopy in soil science and land resource assessment. Geoderma, 158: 1-2.

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.

Lu, S., S. Bai and Q. Xue .2007. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban top soils: a case study from the city of Luoyang, China. Geophys. J. Int. 171 (2):568-580.

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

McNeill, J. D. 1980. Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Geonics Limited, Technical Note TN 6, Geonics Ltd. Mississauga, Ontario, Canada.

Mokhtari Karchegani, P., S., Ayoubi, Sheng Gao Lu., N. Honarju. 2011. Use of magnetic measures to assess soil redistribution following deforestation in hilly region. Journal of Applied Geophysics. 75: 227-236 .
Mullins, C. E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-A review. J. Soil Sci. 28: 223-246.

Rahimi, M. R. S. Ayoubi, and M. R. Abdi. 2013. Magnetic susceptibility and Cs-137 inventory as influenced by land use change and slope position in a hilly, semiarid region of west-central Iran. *Journal of Applied Geophysics 89: 68:75.*
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.
Rossel R.V., 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. Advance Agronomy, 113,237-282.
Rossel, R. A., A. B. McBratney and B. Minasny. 2010. Proximal Soil Sensing. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 446 p.
Schneider, W. E. and Young R. 1998. Spectroraidometery Methods: a guide to photometry and visible spectroradiometery. Application note (A14), Optronic Labratories, INC. PP. 47.
Ventura, E. and Nearing M. 2002. The study of detachment and deposition on a hillslope using a magnetic tracer. Catena. 48: 149-161.

Proximal Soil Sensing and its applications in soil characteristic's determination and soil mapping

Shamsollah Ayoubi
Professor of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract

Knowledge and understanding of soil and how it is distributed across the landscape is essential for the effective use, management and conservation of this most vital resource. As soil is an integral component of many physical and ecological processes, soil information is increasingly being required for input into ecological, hydrologic, climatic and other environmental models. Standard, conventional soil sampling, based on observations at soil pits or auger holes, encounter both methodological and economic constraints when used for entire landscapes. Not only are these methods extremely time consuming and costly because of the high lab our costs, they can also be very destructive, thus increasing the threat to the soil resources. Because of these limitations, other methods for sampling and mapping are being considered. However combination of remote sensing and proximal soil sensing techniques is most promising. 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. The advantage of proximal soil is a rapid, efficient and non-destructive tool to providing high resolution and continuous visualization of the soil properties.

Keywords: Soil, Traditional Survey, Proximal Soil Sensing.