Archive of SID

نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی | سال نهم | شماره سی و سوم و سی و چهارم | بهار و تابستان ۱۳۹۷

نقشه‌سازی رقومی ویژگی‌های خاک با استفاده از داده‌ی سنجش از دوری

مجید رحیم‌زادگان[1*]، حامد حسنلو[2]، محمدرضا مباشری[3]

۱. استادیار گروه منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور، موسسه آموزش عالی خاوران مشهد.

۳. استاد گروه مهندسی سنجش از دور، موسسه آموزش عالی خاوران مشهد.

تاریخ وصول:۱۳۹۶/۵/۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۱۲/۱۰

چکیده

نقشه‌سازی رقومی خاک با پیشرفت‌هایی که در دهه‌های گذشته داشته است، توانسته است شکاف‌هایی که در دانش و داده خاک وجود داشته است را پر کند. در اوایل سال ۲۰۰۰ میلادی با پیوند چند عامل، شامل افزایش دسترسی به داده مکانی (مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، تصاویر ماهواره ای)، دسترسی به توان بالای محاسباتی برای پردازش داده‌ها، پیشرفت ابزارهای داده‌کاوی و GIS، کاربردهای فراوان زمین آمار باعث موفقیت بیش از پیش نقشه‌سازی رقومی خاک شد. علاوه براین، افزایش تقاضای جهانی برای کاهش عدم قطعیت‌های داده مکانی و بازسازی بسیاری از نقشه‌برداری های انجام شده و کمک سازمان‌های جهانی که در گسترش روش‌ها و دانش نقشه‌سازی رقومی نقش بسزایی داشتند، از دیگر موارد موفقیت در این زمینه بود. قالب نظری نقشه‌سازی رقومی خاک تاکنون در تعداد زیادی از مقاله‌ها بیان شده است. در این پژوهش، به ساختار نقشه‌سازی رقومی خاک، تاریخ، توضیح برخی قسمت‌های آن پرداخته شده‌است. نقشه‌سازی رقومی خاک نیازمند سه بخش اساسی است: بخش هزینه در قالب عملیات زمینی و روش‌های مشاهداتی آزمایشگاهی، فرآیند بکارگیری سیستم‌های استنتاج مکانی و غیرمکانی خاک، بخش خروجی در قالب سیستم های اطلاعات مکانی خاک، که شامل خروجی‌هایی در قالب رسترهای پیش بینی با عدم‌قطعیت آن است که در این نوشتار به آن پرداخته شده و راه‌کارهای رفع مشکلات ارائه شده‌است. خروجی کار از موفقیت این دستاورد حکایت می‌کند.

کلید واژگان: خاک، نقشه، رقومی سازی، سنجش از دور

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

نیاز برای داده‌ی ویژگی‌های خاک در عصری که استفاده خاک در تغییر کاربری زمین، تغییرات اقتصادی و آب و هوایی، خاکبرداری در مقیاس‌های منطقه‌ای، ملی و جهانی سرعت یافته است، اهمیت فراوانی پیدا کرده است. چالش های جهانی بزرگی که در عصر ما وجود دارد مانند امنیت غذایی و امنیت خاکی، بدون داده مستمر و با کیفیت و توان تفکیک بالای مکانی-زمانی و به روزرسانی شده که شرایط هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و شیمی فیزیکی اکوسیستم قاره ها را مشخص کند قابل بررسی نیست (Grunwald و همکاران، ۲۰۱۵). امنیت خاک با نگهداری کردن و بهبود دادن منابع جهانی خاک با: تولید غذا، فیبر و آب شیرین؛ بهبود شرایط آب و هوایی، تولید انرژی، حفظ تنوع زیستی و درکل حفاظت از اکوسیستم در ارتباط است(Koch و همکاران، ۲۰۱۳). به منظور رسیدن به امنیت غذایی با منابع محدود آب و خاک، تشدید تغییرات جهانی آب و هوا، افزایش جمعیت جهان به ۹ میلیارد نفر تا دو دهه‌ی آینده نیازمند اتخاذ و توسعه نقشه‌سازی رقومی خاک (DSM[1])، کشاورزی دقیق، مدیریت بهتر، تکنولوژی‌های طیفی-مکانی می‌باشیم (Lobell و همکاران، ۲۰۰۸؛ Godfray و همکاران، ۲۰۱۰).

نقشه‌سازی رقومی خاک از کنار هم قرار گرفتن داده‌ها و روش‌های مختلف در مدل‌های ادغامی بدست می‌آید که این مدل‌ها توزیع زمانی و مکانی مشخصات خاک را تعیین می-کنند (Grunwald و همکاران، ۲۰۱۵). نقشه‌سازی رقومی خاک با پیشرفت‌هایی که در دهه‌های گذشته داشته است، توانسته است شکاف‌هایی که در دانش و داده خاک وجود داشته است را پر کند (Lagacherie و همکاران، ۲۰۰۷؛ Hartemink و همکاران، ۲۰۰۸). درحال حاضر نقشه‌سازی رقومی خاک (DSM) به یک زیرمجموعه‌ی موفق از علوم خاک تبدیل شده است. تعداد مقالات منتشر شده درباره‌ی DSM با یک نرخ ۱۲ مقاله در سال، تعداد نقل قول ها با ۳۸٤ نقل قول در سال در حال افزایش است (Minasny و McBratney، ۲۰۱۵). استفاده از رایانه یا مدلهای عددی برای نقشه سازی خاک امر جدیدی نبوده و روش‌های تحقیقاتی برای نقشه سازی رقومی خاک از سال ۱۹۹۰ ارائه شده‌اند (به‌عنوان نمونه: Skidmore و همکاران، ۱۹۹۱؛ BELL و همکاران، ۱۹۹۲). اصطلاح نقشه‌های رقومی خاک از مدت‌ها پیش مورد استفاده قرار می‌گرفت. برای مثال روگر تاملینسون، پدر علم GIS (Tomlinson، ۱۹۷۸) نقشه‌های پلیگون رقومی را برای نقشه‌های رقومی خاک بکار برد. Dobos و همکاران (۲۰۰۲) از اصطلاح «نقشه-سازی رقومی خاک» به عنوان روشی برای ایجاد نقشه‌های خاک با استفاده از DEM[2] و تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند.

مدل‌های SCORPAN[3] (McBratney و همکاران، ۲۰۰۳) و STEP-AWBH[4] (Grunwald و همکاران، ۲۰۱۱) دو مدل تجربی-مفهومی مهمی هستند که برای پیش‌بینی ویژگی‌های خاک استفاده می‌شوند (Grunwald و همکاران، ۲۰۱۵)، هر دو مدل ریشه در مدل CLORPT دارند که پنج عامل شکل‌گیری خاک را توضیح می‌دهد (CL: اقلیم[5]؛ O: ارگانیسم[6] که بیشتر به‌صورت پوشش گیاهی بیان می شود ؛ R: توپوگرافی[7] یا پستی و بلندی ؛ P: مواد مادر[8] ؛ و T: زمان[9]). Troeh (۱۹٦٤) اثبات کرد که کلاس‌های زهکشی خاک می‌تواند بسته به شیب و انحناء آنها متفاوت باشد. Walker و همکاران (۱۹٦۸) کشف کرد که مشخصات مورفولوژیکال خاک بدست آمده در امتداد

1. Digital Soil Mapping

2. Digital Elevation Model
3. SCORPAN: Soil, Climate, Organism, Relief, Parent material, Age & positioN
4. STEP-AWBH: Soil, Topography, Ecology, Parent material, Atmosphere, Water, Biotic, Human
5. Climate
6. Organisms
7. Relief
8. Parent material
9. Time

www.SID.ir

Archive of SID

یک برش عرضی با شیب، انحناء، نما و فاصله از قله‌ی محلی در رگرسیون خطی چندگانه متناسب است.

مدل مولفه‌های چندمتغیره توسط (Jenny و همکاران، ۱۹٦۸) با عنوان CLORPT تکمیلی پیشنهاد شد، که همه‌ی مولفه‌ها به طور همزمان در قالب یک رگرسیون خطی چندگانه مدل می‌شد:

که S ویژگی‌های خاک (بافت، C، N، کاتیون‌ها، اولین مولفه‌ی اصلی مواد معدنی رسی) را نشان می‌دهد، k ثابت-های تجربی را نشان می‌دهد، MAP و MAT به ترتیب نشان دهنده‌ی میانگین بارش و دمای سالانه هستند. در فرآیند مدل‌سازی، جنی دریافت که یک کورلیشنی بین مولفه‌های مستقلی که او با استفاده از تحلیل اجزای اصلی[1] (PCA) مرتب کرده بود وجود دارد. این کار یکی از قدیمی‌ترین نمونه‌های استفاده از PCA برای تحلیل داده خاک است.

با معرفی مفهوم SCORPAN نقشه‌سازی رقومی خاک، شروع به کار یک سری کارگاه‌های جهانی برای این منظور، علاقه‌ی زیادی برای تحقیق در این زمینه ایجاد شد. اولین کارگاه جهانی نقشه‌سازی رقومی خاک در شهر مونت‌پلیر در سپتامبر ۲۰۰٤ تاسیس شد. در نتیجه‌ی آن، کارگروه IUSS به منظور نقشه‌سازی رقومی خاک، متناسب با اولین کارگاه شکل گرفت. کارگاه‌های جهانی دیگری نیز به ترتیب در ریودوژانیرو برزیل در سال ۲۰۰٦، لوگان آمریکا در سال ۲۰۰۸، رم ایتالیا در سال ۲۰۱۰، سیدنی استرالیا در سال ۲۰۱۲ و نانجینگ چین در سال ۲۰۱٤ شکل گرفت (Lagacherie و همکاران، ۲۰۰٦؛ Hartermink و همکاران، ۲۰۰۸؛ Boettinger، ۲۰۱۰؛ Minansy و همکاران، ۲۰۱۲). مطابق با دومین کارگاه جهانی در سال ۲۰۰٦، پروژه GlobalSoilMap آغاز شد (Minasny و McBratney، ۲۰۱۵). شکل۱ سیر تکاملی نقشه‌سازی رقومی خاک را نشان می‌دهد.

نقشه‌سازی رقومی خاک

نقشه‌سازی رقومی خاک از کنار هم قرار گرفتن داده‌ها و روش‌های مختلف در مدل‌های ادغامی بدست می‌آید که این مدل‌ها توزیع زمانی و مکانی ویژگی‌های خاک را تعیین می-کنند (Grunwald و همکاران، ۲۰۱۵). نقشه‌سازی رقومی خاک با پیشرفت‌هایی که در دهه‌های گذشته داشته است، توانسته است شکاف‌هایی که در دانش و داده خاک وجود داشته است را پر کند (Lagacherie و همکاران، ۲۰۰۷؛ Hartemink و همکاران، ۲۰۰۸). تحلیل سنتی خاک‌ها برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن نیازمند هزینه، کار و زمان زیادی بود. در روش سنتی،نمونه‌های خاک با یک سری روش‌های آزمایشگاهی پرهزینه و وقت‌گیر آزمایش می‌شدند؛به عنوان نمونه روش پیپت که برای توزیع اندازه ذرات و تعیین ویژگی‌های فیریکی و شیمیایی بکار می-رود(GE.Yufeng و همکاران، ۲۰۰۷). مزایای نقشه‌سازی رقومی در ادامه ارائه شده است (GE.Yufeng و همکاران، ۲۰۰۷):

سرعت. آماده‌سازی نمونه‌های خاک مانند روش‌های آزمایشگاهی معمولی سخت نیست (به عنوان مثال، کوبیدن دقیق دیگر نیاز نیست)، اگرچه خشک و الک کردن در برخی از موارد برای خلاص شدن از تاثیر رطوبت خاک و اندازه ذرات در طیف باتابی خاک نیاز است.علاوه‌براین ، یک اسکن کامل از یک نمونه خاک در مقایسه با یک روش آزمایشگاهی که ممکن است چند ساعت طول بکشد، ممکن است کمتر از ۱ ثانیه طول بکشد.

1 Principal Components Analysis

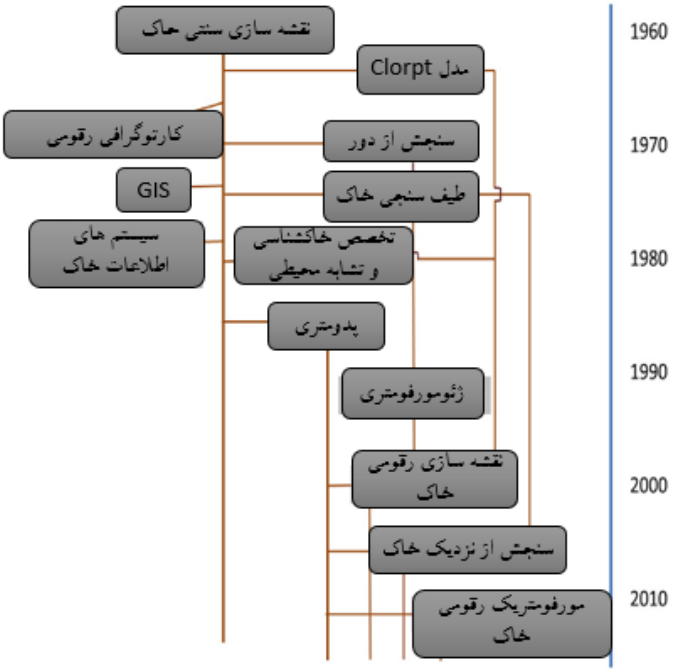
www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

معادله (۱) $S = a + k1 \times MAP + k2 \times MAT + k3 \times Parent\ Material + k4 \times slope + k5 \times Vegetation + k6 \times Latitude$



شکل ۱- سیر تکمیل و اتصال مفاهیم مختلف در نقشه‌سازی رقومی خاک (برگرفته از Minasny و McBratney، ۲۰۱۵)

خراب‌نشدگی. یک نمونه خاک می‌تواند چندین‌بار اندازه گرفته شود، تکرارهای متعدد از طیف بازتابی نمونه مشابه می‌تواند به‌راحتی بدست آید.به همین‌دلیل این اجازه را می-دهد که روش‌های آماری چند منظوره را برای تجزیه و تحلیل واریانس و دقت و صحت بکار برد.

ارزانی. هزینه ثابت برای تجزیه و تحلیل‌های نمونه برای روش سنجش از دوری خیلی کمتر از روش‌های آزمایشگاهی متداول است.هزینه متغیر هر نمونه، که شامل استهلاک اسپکترومترها و متعلقات و تعمیر و نگهداری روزمره آنهاست ، با یک افزایش ذاتی در تعداد نمونه‌های خاکی که اسکن می‌شوند به طور موثری کاهش می‌یابد.

مدل مفهومی روش سنتی نقشه‌سازی می‌تواند با استفاده از روش‌های کمّی جدید بهبود داده شود. با این حال، نقشه-سازی رقومی خاک فقط تولید نقشه‌های خاک با استفاده از کامپیوتر یا روش‌های عددی یا ارتباطات کمی بین متغیرهای محیطی و ویژگی‌های خاک نیست، نقشه‌سازی رقومی خاک نیازمند سه بخش اصلی می‌باشد(Lagacherie و McBratney، ۲۰۰۶):

- بخش ورودی در قالب روش‌های مشاهداتی آزمایشگاهی و زمینی، این بخش شامل استفاده از مشاهدات برجای مانده از خاک یا نقشه‌های خاک، جمع‌آوری نمونه‌های جدید با استفاده روش‌های نمونه‌برداری آماری می‌باشد.
- فرآیند استفاده شده در بخش سیستم‌های استنتاجی مکانی و غیرمکانی خاک، این بخش شامل ایجاد مدل-های آماری یا ریاضی برای مشاهدات خاک، با در نظر گرفتن مولفه‌های محیطی یا عوامل scorpan می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

- بخش خروجی در قالب سیستم‌های اطلاعات مکانی خاک، که شامل خروجی‌هایی در قالب رسترهای پیشگویی همراه با خطای پیش‌بینی است. این خروجی می‌تواند به آسانی به‌روز رسانی شود.

در تحقیقات گذشته، نقشه‌ی سنتی خاک در قالب پلیگون-هایی رقومی شده و به اصطلاح نقشه‌ی رقومی خاک نامیده می‌شدند (Tomlinson، ۱۹۷۸). درحالی‌که تولیدی رقومی نامیده می‌شود که فرآیند تولید آن بر اساس استنتاج آماری باشد، بنابراین نقشه‌ی تولید شده رقومی نبوده، بلکه یک نقشه‌ی رقومی شده (دیجیتایز) خاک است (Minasny و McBratney، ۲۰۱۵).

اصلی‌ترین کار مشترکی که در نقشه‌سازی رقومی خاک وجود دارد پیش‌بینی کلاس یا ویژگی خاک از عوامل به اصطلاح SCORPAN آن، با استفاده از یک تابع پیش‌بینی مکانی خاک با خطای اتوکورلیشن (SSPFe[1]) شده می‌باشد (McBratney، ۲۰۰۳):

معادله(۲)

$$S_C = f(s,c,o,r,p,a,n)+e,\ or\ S_a = f(s,c,o,r,p,a,n)+e$$

که Sc و Sa کلاس‌های خاک و ویژگی‌های خاک بدست آمده از یک تابع خاک(s)، هوا(c)، ارگانیسم‌ها(o)، پستی و بلندی(r)، ماده‌ی مادر(p)، زمان(a) و موقعیت مکانی (n) است، e باقیمانده‌ی همبستگی مکانی است. مدل SCORPAN مدلی برای توضیح عوامل شکل‌گیری خاک نیست بلکه مدلی برای پیش‌بینی کمی کلاس‌های خاک یا ویژگی‌های پیوسته خاک براساس مشاهدات تجربی است . علاوه براین، خاک می‌تواند به عنوان یک عامل بکار گرفته شود، چراکه خاک می‌تواند از ویژگی‌های آن، یا ویژگی‌های خاک از کلاس آن یا دیگر مشخصات پیش‌بینی شود.

اصلی‌ترین کار در نقشه‌سازی رقومی خاک ایجاد یک مدل عددی برای مشاهدات زمینی خاک و عوامل SCORPAN می‌باشد. سپس مدل برای داده مکانی جامع محیطی بکار گرفته می‌شود. با این حال، نقشه‌های سنتی خاک می‌تواند در بخش ورودی برای اهداف مقایسه و پیش‌بینی، به روز رسانی یا تفکیک نقشه‌های خاک استفاده شود (Minasny و McBratney، ۲۰۱۵).

یکی دیگر از رایج‌ترین مدل‌های مفهومی ادغامی برای تشخیص ارتباطات بین ویژگی‌های خاک و پیش‌بینی‌گرها مدل STEP-AWBH است (معادله (۳-۲)) (Grunwald و همکاران، ۲۰۱۱).

معادله (۳)

$$SA(z,p_x,t_c) = f\left\{\sum_j^n (S,T,E,P)_j(z,p_x,t_c);\ \int_{i=0}^{m}\sum_j^n (A,w,B,H)_j(z,p_x,t_i)\right\}$$

که SA مشخصه‌ای خاص از خاک مورد نظر را نشان می-دهد؛ S، T، E، P، A، W، B، H به ترتیب عوامل وابسته به خاک، توپوگرافی، اکولوژی، ماده مادر، اتمسفر، آب، زیست، عوامل انسانی را نشان می‌دهد؛ j تعداد مشخصات در هر گروه عامل است (j = 1, 2, …, n)؛ p_x یک پیکسل به عرض x (توان تفکیک مکانی) در یک موقعیت مشخص روی زمین را نشان می‌دهد؛ t_c نشان دهنده زمان حال است، t_i فاصله زمانی گذشته تا حال را با پله‌ی زمانی i = 0, 1, 2, …, m را نشان می‌دهد؛ و z عمق را نشان می‌دهد.

در این مدل مشخصه خاک مد نظر (SA)، از متغیرهای مختلف زمانی و مکانی دو گروه STEP و AWBH برآورد می‌شود. عوامل AWBH در مقایسه با عوامل STEP تغییرات بیشتری با گذشت زمان دارند، هرچند که تغییرات جغرافیایی نیز اتفاق می‌افتد. اندازه پیکسل (p_x) ممکن است به دلیل مشخصات سنجنده، نوع متغیر (به‌عنوان نمونه، اتمسفریکی در مقایسه با اکولوژیکی) و نیازهای تحقیق میان متغیرهای STEP-AWBH متفاوت باشد. اندازه پیکسل باید تغییرات متغیرهای STEP-AWBH را در اکوسیستم-

1. Spatial Soil Prediction Function without correlated error

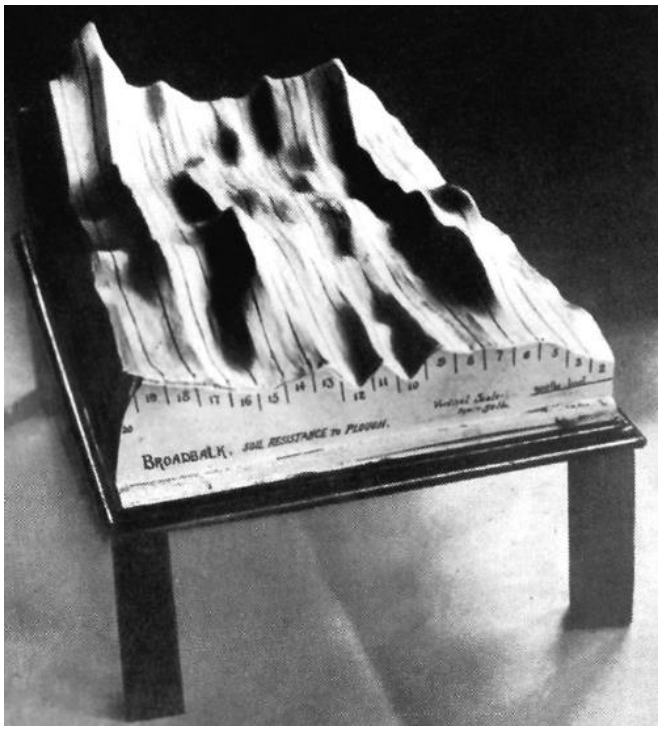
www.SID.ir

Archive of SID

های طبیعی و کشاورزی مشخص کند. برای این امر، ترکیب داده مکانی در توان تفکیک های پایین‌تر (سطح یا حجم به ترتیب با پیکسل‌ها یا وکسل‌ها نشان داده شدند) ممکن است برای یکنواخت کردن مجموعه داده‌های با توان تفکیک های مختلف، با استفاده از روش‌های مختلف نمونه-برداری بکار گرفته شود (Grunwald و همکاران، ۲۰۱۵).

سنجش از نزدیک خاک

در سال ۱۹۲۵ میلادی، خیلی قبل‌تر از کامپیوترهای دیجیتال و سنسورهای الکترونیکی، Bernard Keen و William Haines در کشور انگلیس اولین سنسور فعال قوی خاک را درست کردند. آنها اندازه‌گیری‌ها و نقشه‌ی با توان تفکیک بالای خاک را تولید کردند، با واقعیت و اهمیت تغییرات مکانی خاک روبرو شدند. Haines و Keen (۱۹۲۵a) یک نقشه‌ی برجسته براساس مقادیر متوسط مقاومت مکانیکی خاک بدست آمده برای هر نقطه تولید کردند. آنها این خطوط برجسته‌ی با نیروی مساوی یا مقاومت مکانیکی خاک را "Isodynes" نامیدند. Haines و Keen، (۱۹۲۵b) از یک نیروسنج برای نقشه‌سازی مقاومت مکانیکی نقاط آزمایشی استفاده کردند. آنها یک مدل سه بعدی فیزیکی برای مقاومت مکانیکی خاک تولید کرده و نشان دادند که تغییرات خاک طبیعی بوده و به دلیل کوددهی که از سال ۱۸۴۳ تا ۱۹۲۵ بکار گرفته شده بود نبوده است (شکل ۲).



شکل۲- مدل ۳بعدی تغییرات مقاومت مکانیکی خاک (از Haines و Keen، (۱۹۲۵b))

سنجش از نزدیک خاک در اوایل سال ۲۰۰۰ رسما آغاز شد و با افزایش نیاز برای داده‌ی با توان تفکیک مکانی و زمانی بالای خاک گسترش یافت. سنجش از نزدیک خاک، تحت عناوین درمحل، سیار، روش‌های زمینی برای سنجش اطلاعات خاک تعریف می‌شود(Minasny و McBratney، ۲۰۱۵). در نقشه‌سازی رقومی خاک، متدولوژی، تابع توان تفکیک است و از این‌رو سنجش از نزدیک خاک متدولوژیی برای نقشه‌سازی رقومی خاک با توان تفکیک

www.SID.ir

Archive of SID

بالا است (McBratney و همکاران، ۲۰۱۱). مرتبط با سنجش از نزدیک خاک، مطالعات برآمده از مورفومتری رقومی خاک وجود دارد که از سنسورهای نزدیک برای اندازه‌گیری و نقشه‌سازی مشخصات پروفایلی خاک و استنتاج توابع عمیق پیوسته استفاده می‌کند (Hartermink و Minasny، ۲۰۱٤). مورفومتریک رقومی خاک از سنجش از نزدیک خاک متمایز بوده و ارائه دیدگاه‌های جدیدی در رابطه با افق خاک و بهبود مفهوم پدولوژیکی را ارزیابی می‌کند. یک کار گروه IUSS اخیرا به منظور ارائه این دیدگاه‌های جدید تاسیس شده است(Minasny و McBratney، ۲۰۱۵).

سنجش از دور

استفاده از عکس‌های هوایی سنجش از دوری برای نقشه‌سازی خاک در سال ۱۹۲۰ آغاز شد. استفاده بعدی از تفسیر عکس هوایی در USA (Bushnell، ۱۹۲۹) و استرالیا (Prescott و Taylor ، ۱۹۳۰) بود. با این حال تولید نقشه‌های خاک از اطلاعات توپوگرافیکی و تفسیر عکس هوایی نقشه‌سازی رقومی خاک را تشکیل نمی‌دهد، چراکه تشخیص و شناسایی الگو دستی و فردی انجام می‌گیرد. آنجا هیچگونه استنتاج ریاضی یا آماری پشت فرآیند وجود ندارد.استنتاج آماری برای نقشه‌سازی با معرفی طیف سنج مادون قرمز سنجش از دوری آغاز شد. محققان آزمایشگاه کاربردهای سنجش از دور (LARS[1]) در دانشگاه پردو نقشه سازی طیفی ماده آلی خاک را با استفاده از بازتابندگی هایپراسپکترال خاک از سیگنال مرئی و مادون قرمز نزدیک یک اسکنر هوایی مورد بررسی قرار دادند (kristof و همکاران، ۱۹۷۳). آنها از یک طبقه‌بندی عددی داده‌ها، داخل کلاس‌هایی که توزیع ماده آلی خاک را نشان می‌داد، استفاده کردند. این نوع کار برای مثال توسط Frazier و Cheng (۱۹۸۹) که یک ارتباط خطی بین محتوای کربن آلی و نسبت باندی ٥/٤ (SWIR/NIR) Landsat TM ایجاد کرده بود ادامه یافت. محققان LARS در دانشگاه پردو با یک تحقیق مبتکرانه‌ای در زمینه‌ی سنجش از دور، با تولید اولین کتابخانه‌ی ابرطیفی خاک، پیش‌بینی محتوای کربن آلی خاک در محدوده‌ی NIR و نقشه‌سازی کربن خاک به صورت رقومی را انجام داد. آنها نقشه‌سازی نوع خاک براساس طبقه‌بندی نظارت نشده تصاویر لندست را پیشنهاد کردند. در همان زمان محققانی در هند از تصاویر ماهواره‌ای لندست و اطلاعات توپوگرافیکی و ژئولوژیکی برای نقشه‌سازی خاک استفاده کردند (Singh، ۱۹۸۰؛ Karale و همکاران، ۱۹۸۳). یک پایگاه داده یا کتابخانه‌ی طیفی خاک در سال ۱۹۸۰ در LARS ایجاد شد که پایگاه داده شامل طیف بازتابی مادون قرمز نزدیک همراه با اطلاعات فیزیکی، شیمیایی، مهندسی، مکانی برای ۵۰۰ نمونه‌ی خاک از ۳۹ ایالت آمریکا، برزیل، کاستاریکا، سودان، اسپانیا و اردن بود(Stoner و Biehl، ۱۹۸۰). سنجش از دور به‌عنوان یک منبع ضروری داده برای نقشه‌سازی خاک باقیمانده است؛ محدوده‌ی طیفی سنجش از دور برای نقشه‌سازی رقومی خاک محدود به مرئی و مادون قرمز نمی‌شود؛ بلکه اشعه گاما و فرکانس‌های رادویی نیز استفاده می‌شوند(Minasny و McBratney، ۲۰۱۵).

طیف سنجی خاک

کار طیف‌سنجی در سال ۱۹۷۰–۱۹۸۰ با استفاده از سنجش از دور یا نزدیک اسپکترومترهای مرئی تا مادون قرمز با تولید داده چند طیفی و ابرطیفی پیشتاز آن زمان بود (Al-abbas و همکاران، ۱۹۷۲؛ Kristof و همکاران، ۱۹۷۳؛ Mathews و همکاران، ۱۹۷۳؛ Stoner و Baumgardner، ۱۹۸۱). این امر ۳۰ سال دیگر قبل از آن که کار طیف‌سنجی در مسیر اصلی قرار بگیرد، کتابخانه‌های طیفی خاک دوباره توسعه داده شوند ادامه داشت(Shepherd و Walsh، ۲۰۰۲؛ Brown و همکاران، ۲۰۰٦). علاقه به NIR خاک، توسعه طیف‌سنجی NIR در بخش کشاورزی در اواخر سال

1. Laboratory for Applications of Remote Sensing

www.SID.ir

Archive of SID

۸۰ را در پی داشت، که اسپکترومترهای رومیزی NIR برای اندازه‌گیری سریع ترکیب شیمیایی حبوبات، میوه و سبزیجات، گوشت و غیره مورد استفاده قرار می‌گرفت (Minasny و McBratney، ۲۰۱۵). استفاده از دستگاههای رومیزی یا قابل حمل NIR در علم خاک (در رقابت با NIR سنجش از دور) در سال ۱۹۹۰ با توسعه تحلیل داده چندمتغیره‌ی داده ابرطیفی آغاز شد. طیف سنجی نزدیک خاک هنوز نقش فعالی در تحقیقات دارد (Minasny و McBratney، ۲۰۱۵).

مشکلات استفاده از سنجش از دور در برآورد ویژگی‌های خاک

مشکلات اصلی استفاده از RS در برآورد ویژگی‌های خاک، پیچیدگی اجزای خاک و طیف خاک می باشد. برخی از این اجزای خاک، امضای طیفی قوی و واضحی دارند (مانند مونت موریلونایت رسی)، برخی از این اجزا امضای طیفی ضعیفی از خود نشان می دهند (مانند کوارتز و فلد اسپار). علاوه براین، بسیاری از امضاهای طیفی با یکدیگر همپوشانی دارند، برای مثال معمولا در ۱,٤ و ۱,۹ میکرومتر جذب طیف خاک را داریم و دلیل آن می تواند بسیاری از مولفه های شیمیایی خاک باشد. همچنین همپوشانی ممکن است یک روند افزایشی خطی نداشته باشد. و در نهایت خاک های کشاورزی مکررا تحت تاثیر فرآیندهای مدیریتی مانند عبور وسایل نقلیه که منجر به فشردگی می شود، کشت و زرع و آبیاری است؛ که هر کدام از این عوامل روی رطوبت و اندازه ذرات خاک و نهایتا روی طیف خاک تاثیر زیادی می گذارند (GE.Yufeng و همکاران، ۲۰۱۱). توان تفکیک طیفی سنجنده تاثیر زیادی در اطلاعات طیفی خاک دارد. توان تفکیک طیفی بالا، بیشتر اطلاعاتی را که برای تعیین ویژگی‌های خاک نیاز است را استخراج می کند. روش های جدید RS برای تعیین ویژگی‌های خاک، به سمت استفاده از داده های ابرطیفی و تحلیل داده با روش های کمی مناسب تر پیش می رود. خاک و طیف آن پدیده ی پیچیده ای هستند و این مانع از پیش بینی مستقیم ویژگی‌های خاک با استفاده از مدل یا تئوری های فیزیکی است(GE.Yufeng و همکاران، ۲۰۱۱). تحلیل های رگرسیون :MLR،PCR و PLSR پرتکرارترین روش های استفاده شده برای داده بازتابی ابرطیفی خاک می باشند(R. Casa و همکاران، ۲۰۱۳؛ GE.Yufeng و همکاران، ۲۰۱۱). یک مزیت این روش های تجربی این است که استدلال های فیزیکی و ریاضی پیچیده‌ی بین انرژی موجود و سطح خاک و اجزای اصلی می تواند نادیده گرفته شود. مبحث دیگری که راجع به برآورد ویژگی‌های خاک وجود دارد، اندازه‌گیری آنی ویژگی‌های خاک در محل می‌باشد. مقالات متعددی بیان کرده‌اند که تحلیل های کمّی RS طیف خاک، یک گام مقدماتی رو به جلو در تعیین ویژگی‌های خاک با استفاده از سنجنده‌های نزدیکی است که ویژگی‌های خاک را بصورت آنی در محل اندازه می‌گیرند. با این حال، حتی دستاوردهای اخیر هم به دلایل زیر نمی تواند اصولی عملی برای یک سنجنده ویژگی‌های خاک فراهم آورد(GE.Yufeng و همکاران، ۲۰۱۱):

-احتمال اینکه یک سنجنده ای بتواند همه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را اندازه بگیرد وجود ندارد.

- بیشتر تحقیقات در شرایط آزمایشگاهی کنترل شده ی خوبی انجام می شود و نتایج آن نمی تواند برای موقعیت های جهان واقعی بسط داده شود.

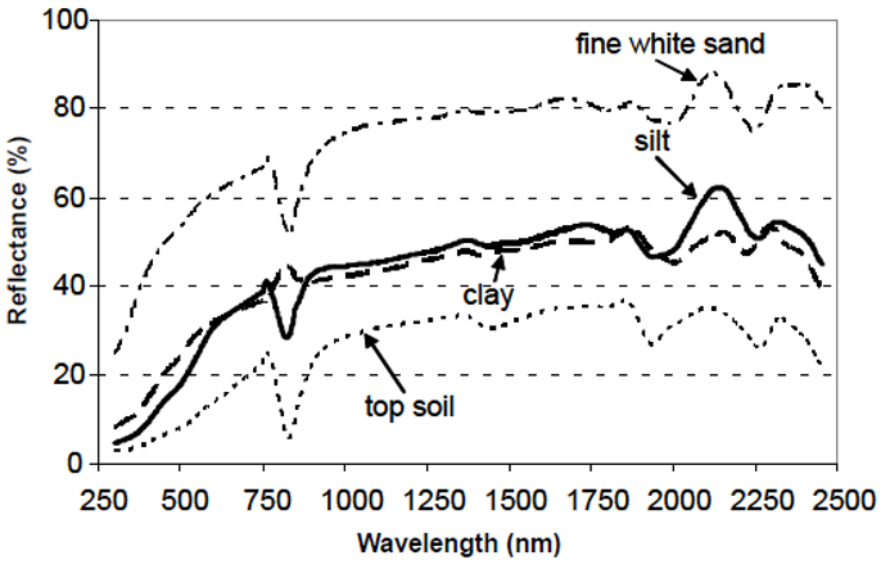
- ایجاد مدل هایی که قابلیت پیش بینی خوبی دارند و با داده ابرطیفی توسعه داده شده‌اند، بسیار پیچیده بوده و گاهی اوقات شامل صدها باند کم پهنا است.

- حتی برای یک مشخصه خاص خاک (مانند محتوای رس) مدل ها در مناطق مختلف جغرافیایی کاملا متفاوت از یکدیگر توسعه داده شده اند. بنابراین، یک سنجنده مشخصه خاک براساس مدل های توسعه یافته از یک منطقه ممکن است قادر به اندازه گیری همان مشخصه خاک دریک منطقه دیگر نباشد.

www.SID.ir

Archive of SID

علی الظاهر مانع اصلی برای توسعه سنسور تجاری خاک ناپایداری مدل های بدست آمده از مطالعات مختلف در مکان های مختلف است. این مشکل غیرمنتظره نیست چراکه تغییرات زیادی در طیف خاک بدلیل پیدایش خاک، شکل گیری خاک و محدودیت های RS وجود دارد. یک راه حل مناسب برای این مسئله جمع آوری تعداد جامعی از نمونه های خاک از سراسر جهان ، توسعه یک مدل جهانی و مبنا قرار دادن سنسور مشخصه خاک روی این مدل است. Brown و همکاران (۲۰۰۵) حتی با برخی از فرضیات ساده نشان دادند که، ۵,۲×۱۰۹ نمونه کالیبره و انتخاب شده دقیق، برای تعیین اندازه ترکیبی خاک جهان نیاز است. با در نظر گرفتن زمان و هزینه مورد نیاز برای جمع آوری و تحلیل، این تقریبا یک ماموریت غیر ممکن است.یک روش جایگزین برای ویژگی های جهانی خاک، تاسیس یک کتابخانه طیفی جهانی خاک است (GE و همکاران، ۲۰۱۱). از این کتابخانه برای پیش بینی نمونه های جدیدی که برای طیف مشابهی اسکن شده‌اند استفاده خواهد شد و نمونه‌های غیرمشابه طیف خاک هم، برای توسعه کتابخانه طیفی ارائه خواهند شد. در شکل ۳ بازتابش چهار نوع خاک مرجع نشان داده شده است.



شکل ۳- بازتابندگی ٤ نوع خاک مرجع

نتیجه‌گیری

پیشرفت‌هایی که در بخش‌های قبلی بحث شد منجر به قاعده‌سازی قالب scorpan نقشه‌سازی رقومی خاک در سال ۲۰۰۳ شد (شکل ۲). پیشرفت نقشه‌سازی رقومی خاک یک اتصالی از چند عامل است: دسترسی به داده‌ی رقومی مکانی (DEM, Landsat images)، دسترسی به توان محاسبه برای پردازش داده حجیم، گسترش ابزارهای داده-کاوی و پیشرفت در GIS، کابرد زمین‌آمارها. تولید نقشه-های رقومی خاک همزمان با تجدید نظر در بخش کشاورزی (غذا، تغذیه، سوخت) توسط سازمان‌های جهانی بود، که تحقیقات خاک را به‌سوی برنامه‌های جهانی سوق دادند (Minasny و McBratney، ۲۰۱۵). بااین حال، بیشتر تلاش ها با استفاده از داده طیفی پایین یا به عبارتی داده با توان تفکیک طیفی پایین انجام شده است، که معمولا تخمین های کیفی در مقیاس منطقه ای را فراهم آورده اند. بخصوص، داده چند طیفی ماهواره هایی از قبیل LANDSAT TM، Landsat ETM+، NOAA، MODIS، SPOT و IKONOS که به عنوان مثال برای طبقه بندی نواحی با بافت های مختلف خاک استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

شده‌اند (R. Casa و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین تحلیل-های رگرسیون چندگانه بین باندها یا ترکیب‌های باندی و ویژگی‌های خاک و روش‌های طبقه بندی نظارت شده یا نظارت نشده عمدتا بکار گرفته شده‌اند(R. Casa و همکاران، ۲۰۱۳). ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک بیشترین استفاده را در شناسایی ویژگی‌های خاک دارند، نواحی ماورابنفش،مادون قرمز میانی، مادون قرمز حرارتی کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند (GE و همکاران،۲۰۱۱). اگرچه طبق نظر برخی از محققین (R. Casa و همکاران، ۲۰۱۳) SWIR و مادون قرمز میانی مهمترین نواحی برای کاربردهای خاک هستند، اطلاعات ترکیب مواد آلی و معدنی خاک در این ناحیه بیشتر از VIS-NIR است. از نظر تحلیل داده هم، MLR، PCR و PLSR سه روشی هستند که به دلیل مناسب بودن برای کاهش چندین متغیر طیفی همبسته به عاملهای کمتر، بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند (R. Casa و همکاران، ۲۰۱۳؛ GE و همکاران، ۲۰۱۱).

منابع

1. Brown, D.J., Shepherd, K.D., Walsh, M.G., Dewayne Mays, M., Reinsch, T.G., 2006. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma, 132, pp. 273–290.
2. Bushnell, T., 1929. Aerial photography and soil survey. Soil Science Society of America Journal, 10, 2001, pp.23–28.
3. Dobos, E., Norman, B., Worstell, B., et al., 2002. The use of DEM and satellite data for regional scale soil databases. Agrokémia és Talajtan, 51, pp. 263–272.
4. Frazier, B.E., Cheng, Y., 1989. Remote sensing of soils in the Eastern Palouse region with Landsat Thematic Mapper. Remote Sensing of Environment, 28, pp. 317–325.
5. Ge, Y., Thomasson, A., Sui, R., 2011. Remote sensing of soil properties in precision agriculture: a review. Frontiers of Earth Science, 5, pp. 229–238.
6. Ge, Y., Thomasson, A., Morgan, C. L., Searcy, S. W., 2007, VNIR Diffuse reflectance spectroscopy for agricultural soil property determination based on regression-Kriging. Frontiers of Earth Science, 5, pp. 229–238.
7. Grunwald, S., Thompson, J.A., Boettinger, J.L., 2011, Digital soil mapping and modeling at continental scales: finding solutions for global issues. Soil Science Society of America Journal, 75, pp. 1201-1213.
8. Grunwald, S., Vasques, G.M., Rivero, R. G., 2015, Fusion of Soil and Remote Sensing Data to Model Soil Properties. Advances in Agronomy, 131, ISSN 0065-2113.
9. Haines, W.B., Keen, B.A., 1925a. Studies in soil cultivation. II. A test of soil uniformity by means of dynamometer and plough. The Journal of Agricultural Science, 15, pp. 387–394.
10. Haines, W.B., Keen, B.A., 1925b. Studies in soil cultivation. III. Measurements on the Rothamsted classical plots by means of dynamometer and plough. The Journal of Agricultural Science, 15, pp. 395–406.
11. Jenny, H., Salem, A.E., Wallis, J. R., 1968. Interplay of soil organic matter and soil fertility with state factors and soil properties. “Organic matter and soil fertility”. Pontificiae Academiae Scientiarvm Scripta Varia, 32, pp. 5–36.
12. McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.de L., Minasny, B., 2003, On digital soil mapping. Geoderma, 117, pp.3-52.
13. Prescott, J.A., Taylor, J.K., 1930, The value of aerial photography in relation to soil surveys and classification. CSIR Aust. J., 3, pp.229–230.
14. Casa, R., Castaldi, F., Pascucci, S., Palombo, A., Pignatti, S., 2013, A comparison of sensor resolution and calibration strategies for soil texture estimation from hyperspectral remote sensing, Geoderma, 197–198, pp. 17–26.
15. Tomlinson, R., 1978, Design considerations for digital soil map systems. 11th Congress of Soil Science, ISSS, Edmonton, Canada.
16. Troeh, F.R., 1964, Landform parameters correlated to soil drainage. Soil Science Society of America Journal, 28, pp. 808–812.
17. Walker, P., Hall, G., Protz, R., 1968. Relation between landform parameters and soil properties. Soil Science Society of America Journal, 32, pp. 101–104.

www.SID.ir