نقشه‌برداری رقومی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی آمریکایی با استفاده از مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته در دشت شهرکرد

زهره مصلح [۱]، محمدحسن صالحی [۲]، اعظم جعفری [۳]
۱- دانشجوی دکتری علوم خاک دانشگاه شهرکرد، ۲- استاد گروه علوم خاک دانشگاه شهرکرد، ۳- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه باهنر کرمان

چکیده
به‌منظور بررسی کارایی روش نقشه‌برداری رقومی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک تا سطح فامیل با استفاده از مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر، تشریح و از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. بر اساس اطلاعات حاصل از مشاهدات صحرایی و نتایج آزمایشگاهی، رده‌بندی خاک‌رخ‌ها تا سطح فامیل نهایی گردید. نتایج نشان داد که مقدار صحت عمومی از سطوح بالای رده‌بندی به سمت سطوح پایین‌تر کاهش می‌یابد و میزان این کاهش در سطوح تحت‌گروه و فامیل، بیشتر قابل مشاهده است. در بین پارامترهای محیطی وارد شده به مدل، اجزای سرزمین مهم‌ترین پارامترها در پیش‌بینی کلاس‌های خاک تا سطح فامیل بودند. سطح رده‌بندی مورد نظر، میزان تنوع خاک‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، تراکم نمونه‌برداری و نوع پارامترهای محیطی مورد استفاده از مهم‌ترین عواملی می‌باشند که می‌توانند صحت پیش‌بینی کلاس‌های خاک را تحت تأثیر قرار دهند.

واژه های کلیدی: اجزای سرزمین، مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته، نقشه‌برداری رقومی خاک

مقدمه
نقشه‌های تفصیلی خاک که شامل اطلاعات کامل از ویژگی‌های خاک‌ها و توزیع آن‌ها می‌باشند؛ برای ارزیابی کامل و جامع اراضی و مدیریت منابع مورد نیاز می‌باشند. ولی متأسفانه، نقشه‌های تفصیلی خاک تنها برای سطح محدودی از مناطق ایران موجود می‌باشند. تعمیم نتایج حاصل از خاک‌رخ‌های شاهد به کل واحد نقشه بدون در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی خاک، نیازمندی به حفر تعداد زیاد خاک‌رخ، مبتنی بودن بر میزان دانش و تجربه‌ی کارشناس، مطالعات آزمایشگاهی گسترده و زمان‌بر بودن شاید از مهم‌ترین محدودیت‌های نقشه‌برداری مرسوم خاک می‌باشند (صالحی و خادمی، ۱۳۸۷). به همین منظور در راستای کاهش هزینه و زمان اجرای مطالعات خاکشناسی و نیز افزایش دقت آن‌ها، در سال‌های اخیر روش نقشه‌برداری رقومی خاک رو به گسترش بوده‌اند.
نقشه‌برداری رقومی خاک، بیانگر مجموعه‌ای از محاسبات رایانه‌ای برای پیش‌بینی پراکنش خاک‌ها می‌باشد که با استفاده از مدل‌های مختلف و پارامترهای محیطی، کلاس‌های خاک یا ویژگی‌های آن را پیش‌بینی می‌نماید (Grunwald, ۲۰۰۶). تاکنون مطالعات مختلفی در دنیا و کشور با استفاده از نقشه‌برداری رقومی خاک، کلاس‌های خاک را تخمین زده‌اند (Pahlavan Rad *et al*., ۲۰۱۴؛ Jafari *et al*., ۲۰۱۴؛ Taghizadeh Mehrjardi *et al*., ۲۰۱۴؛ Brungard *et al*., ۲۰۱۵). جعفری و همکاران (۲۰۱۴) نقشه‌برداری رقومی خاک را در سطح گروه بزرگ با استفاده از مدل‌های رگرسیون لاجیستیک دوتایی و درختی توسعه‌یافته در منطقه‌ی زرند کرمان انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که نقشه‌ی ژئومورفولوژی، ابزاری مهم در روش نقشه‌برداری رقومی خاک است که به افزایش دقت پیش‌بینی کمک قابل توجهی می‌نماید و مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته صحت بیش‌تری در پیش‌بینی کلاس‌های خاک داشت. مدل‌های درختی در مقایسه با سایر روش‌ها، دارای مزایایی از جمله قابلیت تفسیر بالا و عدم وابستگی به داده‌های پرت می‌باشند (Moran and Bui, ۲۰۰۲). مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته تاکنون توسط محققین مختلفی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک استفاده شده است (Adhikari *et al*., ۲۰۱۳؛ Jafari *et al*., ۲۰۱۴؛ Brungard *et al*., ۲۰۱۵).
اکثر مطالعات در زمینه‌ی نقشه‌برداری رقومی کلاس‌های خاک در جهان و ایران در سطوح بالای رده‌بندی انجام شده‌اند. این درحالی است که با شناخت و آگاهی دقیق از ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، می‌توان کلاس‌های خاک را تا سطح گروه بزرگ با اطمینان قابل قبولی بدون مطالعات آزمایشگاهی و در مواردی بدون مطالعات صحرایی، پیش‌بینی نمود. چالش اساسی در رابطه با تهیه‌ی نقشه خاک در سطوح پایین‌تر رده‌بندی است که از نظر مدیریتی قابل اهمیت هستند اما به دلیل پیچیدگی زیاد خاک در این سطوح و نیازمندی آن‌ها به انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی زیاد، اطلاعات کم‌تری از خاک در این سطوح در دسترس می‌باشند. بنابراین، در پژوهش حاضر توانایی مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی آمریکایی (تا سطح فامیل) در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها
منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۸۸۰۰ هکتار شامل بخشی از اراضی دشت شهرکرد می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی ′۵۲ °۵۰ تا ′۵۹ °۵۰ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ′۱۳ °۳۲ تا ′۲۳ °۳۲ شمالی قرار گرفته است. میانگین بارندگی و دمای سالیانه‌ی منطقه، به ترتیب ۳۲۲ میلی‌متر و ۵/۱۲ درجه‌ی سلسیوس و میانگین ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۲۰۵۰ متر می‌باشد.

بر اساس مطالعات خاکشناسی نیمه‌تفصیلی (Rossiter, ۲۰۰۰)، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر، حفر گردید. تمامی خاک‌رخ‌های حفرشده، بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (Schoeneberger *et al*., ۲۰۱۲) تشریح شدند و از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز برای رده‌بندی خاک‌ها تا سطح فامیل، بر اساس روش‌های استاندارد انجام شدند. سپس، بر اساس اطلاعات حاصل از مشاهدات صحرایی و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، رده‌بندی خاک‌رخ‌ها بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) تا سطح فامیل نهایی گردید.

برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی آمریکایی، پارامترهای محیطی مختلفی در این پژوهش استفاده شد. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر (تهیه‌شده از وب‌سایت مدل رقومی ارتفاع جهانی استر)، ویژگی‌های اولیه و ثانویه‌ی مدل رقومی ارتفاع شامل درصد شیب، جهت شیب، انحنای خالص، انحنای نیم‌رخ، انحنای سطحی، جهت جریان، تجمع جریان، تابش مستقیم، مدت تابش، تابش پخشیده، شاخص قدرت جریان، شاخص خیسی و شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا تعیین گردیدند. شاخص‌های سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ (سال ۲۰۱۴) بدست آمدند. همچنین نقشه‌ی زمین‌شناسی (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)، نقشه‌ی خاك موجود در منطقه (با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) و نقشه‌ی ژئومورفولوژی منطقه، به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفتند.

در نهایت، مطابق با اندازه‌ی پیکسلی پیشنهاد شده برای نقشه‌برداری در سطح نیمه‌تفصیلی (McBratney *et al*., ۲۰۰۳)، تمامی پارامترهای کمکی به نقشه‌هایی با اندازه‌ی پیکسل ۵۰ متر تبدیل شدند و با برازش مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته بر پارامترهای محیطی و همچنین کلاس‌های خاک در نرم‌افزار R، مهم‌ترین پارامترهای محیطی در پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی آمریکایی تعیین شدند. برای مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته، شاخص تأثیر نسبی محاسبه می‌گردد که سهم هر متغیر را در پیش‌بینی نشان می‌دهد.

داده‌ها به‌طور تصادفی به داده‌های آموزشی (۸۰ درصد) و اعتبارسنجی (۲۰ درصد) تقسیم شدند. مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته با داده‌های آموزشی برازش داده شد و سپس پیش‌بینی بر اساس داده‌های اعتبارسنجی انجام شد. ارزیابی صحت مدل رگرسیون درختی توسعه یافته در پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی، با مقایسه‌ی کلاس‌های خاک مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده و استفاده از شاخص صحت عمومی در سطوح مختلف رده‌بندی انجام شد. همچنین برای فراوان‌ترین خاک در هر سطح رده‌بندی، مقادیر صحت کاربر و صحت نقشه‌بردار بر مبنای ماتریس خطا تعیین گردیدند.

نتایج و بحث

نتایج رده‌بندی خاک‌رخ‌ها نشان داد که در منطقه‌ی مورد مطالعه در سطح رده، تحت‌رده، گروه بزرگ، تحت‌گروه و فامیل، به‌ترتیب، ۲، ۳، ۵، ۸ و ۴۷ نوع خاک وجود دارد. صحت پیش‌بینی برای سطوح مختلف رده‌بندی متفاوت می‌باشد و مقدار صحت عمومی از سطوح بالای رده‌بندی به سمت سطوح پایین‌تر کاهش می‌یابد و میزان این کاهش در سطوح تحت‌گروه و فامیل بیشتر قابل مشاهده است (شکل ۱). در سطوح پایین‌تر رده‌بندی خاک، علاوه بر آن‌که ویژگی‌های بیش‌تری از خاک مد نظر قرار می‌گیرند، معمولا تعداد کلاس‌های طبقه‌بندی در هر سطح، افزایش می‌یابند و از طرفی تعداد خاک‌ها در هر کلاس طبقه‌بندی کم می‌شود. بنابراین، تعدد ویژگی‌ها و حضور کم برخی از خاک‌ها سبب می‌شود که فرآیند آموزش مدل به‌خوبی صورت نگیرد و شاید به همین دلیل است که در سطوح پایین‌تر رده‌بندی، مقادیر صحت عمومی کاهش می‌یابد و قابلیت اعتماد به نتایج کم‌تر می‌شود. پژوهشگران مختلفی نشان داده‌اند که فراوانی کلاس‌های خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه، فاکتور مهمی در تعیین خلوص نقشه‌های خاک بر مبنای روش نقشه‌برداری رقومی می‌باشد (Jafari *et al*., ۲۰۱۴؛ Pahlavan Rad *et al*., ۲۰۱۴ ؛ Taghizadeh Mehrjardi *et al*., ۲۰۱۵). استوروگل و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که در مناطقی با وجود داده‌های محدود، صحت نقشه‌های بهدست‌آمده به‌عنوان چالشی برای این‌گونه مطالعات به‌حساب می‌آید.

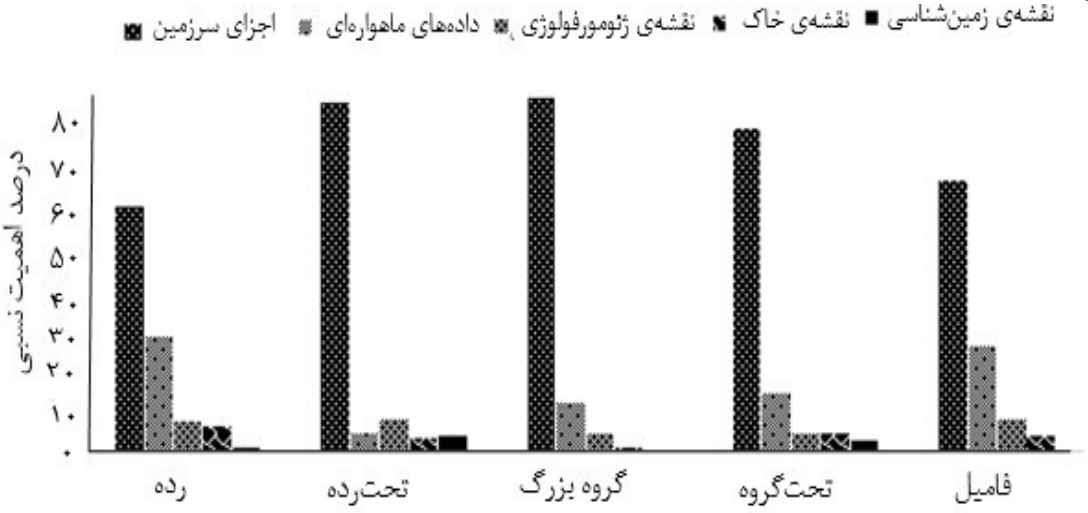
شکل ۱. مقادیر صحت عمومی برای سطوح مختلف رده‌بندی

فراوان‌ترین خاک‌ها تا سطح فامیل در منطقه‌ی مورد مطالعه، عبارت‌اند از: رده اینسپتی‌سولز (۹۰ درصد)، تحت‌رده زرپتز (۷۷ درصد)، گروه بزرگ کلسی‌زرپتز (۵۵ درصد)، تحت‌گروه تیپیک‌کلسی‌زرپتز (۴۰ درصد) و فامیل Fine-silty, Mixed, Semiactive, Mesic Typic Calcixerepts (۱۰ درصد). نتایج بیانگر این است که بر مبنای مقادیر صحت کاربر برای فراوان‌ترین خاک در هر یک از سطوح رده‌بندی، مدل رگرسیون درختی توانسته است در سطوح بالای رده‌بندی پیش‌بینی خوبی را انجام دهد ولی مقدار این شاخص در سطوح پایین رده‌بندی کاهش می‌یابد (جدول ۱). صحت بالای نقشه‌های رقومی خاک در برابر میزان هزینه‌ای که برای انجام آن‌ها می‌شود؛ زمانی می‌توانند ارزشمند باشند که بتوانند پیچیدگی‌های خاک را در سطوح پایین رده‌بندی خاک که نحوه مدیریت خاك را بیشتر نمایان می‌سازد با دقت قابل قبولی بیان نماید.

خاک	فراوانی (درصد)	صحت نقشه‌بردار	صحت کاربر
اینسپتی‌سولز	۹۰	۱	۱
زرپتز	۷۷	۹۵/۰	۸۶/۰
کلسی‌زرپتز	۵۵	۷۸/۰	۷۸/۰
تیپیک‌کلسی‌زرپتز	۴۰	۵۵/۰	۵۵/۰
Fine-silty, Mixed, Semiactive, Mesic Typic Calcixerepts	۱۰	۱	۵/۰

جدول ۱. فراوانی، صحت نقشه‌بردار و کاربر برای فراوان‌ترین خاک‌ها در سطوح مختلف رده‌بندی

نتایج نشان داد که در بین پارامترهای محیطی، اجزای سرزمین بیش‌ترین تأثیر را در پیش‌بینی کلاس‌های خاک تا سطح فامیل داشته‌اند (شکل ۲). هرچند که تأثیر این پارامتر در سطوح مختلف رده‌بندی متفاوت می‌باشد. این موضوع می‌تواند مؤید این مطلب باشد که در این منطقه‌ی مسطح و کم شیب، اجزای سرزمین (شیب، جهت شیب و شاخص هموارای دره با درجه تفکیک بالا) از مهم‌ترین فاکتورهای خاکسازی می‌باشند و با تأثیر بر درجه حرارت، میزان رطوبت و میزان پوشش گیاهی بر فرآیندهای خاک‌سازی تأثیرگذار هستند و توزیع مکانی خاک‌ها را کنترل می‌نمایند. اگرچه تأثیر اجزای سرزمین بر پراکنش خاک‌ها در منطقه‌ی مسطح توسط مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته بخوبی قابل شناسایی بوده ولی با تفسیر عکس‌های هوایی و حتی بازدیدهای صحرایی، تشخیص تغییرات و تأثیر این فاکتور خاکسازی به‌راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین، از مزایای روش‌های رقومی می‌توان به تفکیک ویژگی‌های توپوگرافیکی اراضی در مناطق مسطح و کم‌شیب اشاره کرد. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که توپوگرافی یکی از مهم‌ترین پارامترهای محیطی در پیش‌بینی کلاس‌های فامیل خاک در منطقه‌ی بانه در استان کردستان بوده است. با توجه به نتایج شکل ۲ می‌توان بیان نمود که در منطقه‌ی مورد مطالعه، نقشه‌ی خاک و نقشه‌ی زمین‌شناسی کم‌ترین اهمیت را در پیش‌بینی کلاس‌های خاک در تمامی سطوح رده‌بندی داشته‌اند.



شکل ۲. اهمیت نسبی پارامترهای محیطی برای سطوح مختلف رده‌بندی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در منطقه‌ی مورد مطالعه روش نقشه‌برداری رقومی، برای تخمین کلاس‌های خاک در سطح تحت‌گروه و فامیل، دارای دقت قابل قبولی نیست. صحت بالای نقشه‌های رقومی خاک در برابر میزان هزینه‌ای که برای انجام آن‌ها می‌شود؛ زمانی می‌تواند ارزشمند باشد که بتوانند پیچیدگی‌های خاک را در سطوح پایین رده‌بندی خاک با دقت قابل قبولی بیان نمایند. به‌نظر می‌رسد سطح رده‌بندی مورد نظر، میزان تنوع خاک‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، تراکم نمونه‌برداری و نوع پارامترهای محیطی استفاده شده از مهم‌ترین عواملی می‌باشند که صحت پیش‌بینی کلاس‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین، علی‌رغم کاستی‌ها و نواقصی که در روش‌های سنتی نقشه‌برداری خاک وجود دارد جایگزینی این روش با روش‌های جدید هنوز نیازمند مطالعات بیشتر در مناطق مختلف کشور است و تصمیم‌گیری و اظهار نظر نهایی در این ارتباط امری مشکل است.

منابع

صالحی، م. ح. و خادمی، ح. ۱۳۸۷. مبانی نقشه‌برداری خاک. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان.

Adhikari K., Minasny B., Greve M.B. and Greve M.H. ۲۰۱۳. Constructing a soil class map of Denmark based on the FAO legend using digital techniques. Geoderma, ۲۱۴-۲۱۵: ۱۰۱-۱۱۳.

Brungard C.W., Boettinger J.L., Duniway M.C., Wills S.A. and Edwards T.C. ۲۰۱۵. Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. Geoderma, ۲۳۹-۲۴۰: ۶۸-۸۳.

Grunwald S. ۲۰۰۶. Environmental soil-landscape modeling: Geographic information technologies and pedometrics. CRC Press.

Jafari A., Khademi H., Finke P.A., Wauw J. and Ayoubi S. ۲۰۱۴. Spatial prediction of soil great groups by boosted regression trees using a limited point dataset in an arid region, southeastern Iran. Geoderma, ۲۳۲-۲۳۴: ۱۴۸-۱۶۳.

McBratney A.B., Mendonc M.L. and Minasny B. ۲۰۰۳. On digital soil mapping. Geoderma, ۱۱۷: ۳- ۵۲.

Moran C.J. and Bui E.N. ۲۰۰۲. Spatial data mining for enhanced soil map modeling. International Journal of Geographical Information Science, ۱۶: ۵۳۳-۵۴۹.

Pahlavan Rad M.R., Toomanian N., Khormali F., Brungard C.W., Komaki C.B. and Bogaert P. ۲۰۱۴. Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. Geoderma, ۲۳۲-۲۳۴: ۹۷-۱۰۶.

Rossiter D.G. ۲۰۰۰. Methodology for Soil Resource Inventories. Soil Science Division, International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC).

Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C. and Soil Survey Staff. ۲۰۱۲. Field book for describing and sampling soils. ۳nd Version. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center. Lincoln, NE.

Soil Survey Staff. ۲۰۱۴. Keys to soil taxonomy, Twelfth edition. NRCS, USDA, USA.
Stoorvogel J., Kempen J., Heuvelink B. and Bruin S. ۲۰۰۹. Implementation and evaluation of existing knowledge for digital soil mapping in Senegal. Geoderma, ۱۴۹: ۱۶۱-۱۷۰.
Taghizadeh Mehrjardi R., Sarmadian F., Minasny B., Trianta lis J. and Omid M. ۲۰۱۴. Digital mapping of soil classes using decision tree and auxiliary data in the Ardakan region, Iran. Arid Land Resource Management, ۲۱۳:۱۵-۲۸.

Abstract

To investigate the ability of digital soil mapping to predict taxonomic classes up to family level using boosted regression tree model in the Shahrekord plain of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province, ۱۲۰ pedons with approximate distance of ۷۵۰ m were excavated, described and soil samples were taken from different genetic horizons. According to the profile investigation and soil analytical data, soil profiles were classified to the family level. Results showed that the overall accuracy decreased from order to the family level and this decrease was more recognizable at the subgroup and family levels. Terrain attributes were the most important covariates for prediction soil classes up to family level. Prediction accuracy of soil classes can be influenced by the taxonomic level, soil spatial variability in the study area, sampling density and the type of auxiliary information.