تأثیر نظر افراد خبره در نقشهبرداری رقومی خاک و روش نمونهبرداری

محسن باقری بداغآبادی [۱]، عیسی اسفندیارپور بروجنی [۲]، محمدحسن صالحی [۳]، جهانگرد محمدی [۴] و نورایر تومانیان [۴]
۱-استادیار گروه جغرافیا دانشگاه آزاد واحد نجفآباد، ۲-دانشیار گروه خاکشناسی دانشکدهی کشاورزی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ۳- استاد گروه خاکشناسی دانشکدهی کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ۴- دانشیارگروه خاک شناسی دانشکدهی کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ۵- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

چکیده
در نقشهبرداری خاک، روشهای متعددی برای برآورد انواع خاک و نیز برای نمونهبرداری از خاک استفاده شده است. برای نمونهبرداری از خاک، روشهای شبکهبندی و آزاد (تعیین موقعیت خاکرخ بر اساس نظر کارشناس) بسیار مورد کاربرد است. این پژوهش به بررسی تأثیر و کارایی نظر افراد خبره در کاهش زمان و هزینههای نقشهبرداری رقومی خاک با استفاده از شبکههای عصبی مصنوعی میپردازد (ANN). برای این منظور از ۹۰ خاکرخ به روش شبکهبندی و ۲۰ خاکرخ براساس نظر افراد خبره در برآورد خاکها برای اجرای ANN استفاده شد. نتایج نشان داد که شبکههای عصبی میتوانند پراکنش خاکها را با استفاده از دادههای پایه (مانند ویژگیهای DEM و واحدهای ژئومورفیک) به خوبی برآورد کنند. همچنین نظر افراد خبره میتواند تأثیر قابل ملاحظهای در کاهش زمان و هزینه داشته باشد بهطوری که نتایج حاصل از ۲۰ خاکرخ انتخابشده توسط افراد خبره با نتایج ۵۴ خاکرخ استفادهشده در روش شبکهبندی، برابر بود.

واژههای کلیدی: روشهای نمونهبرداری خاک، نقشهبرداری رقومی خاک، شبکههای عصبی مصنوعی

مقدمه
هرچند درخواستهای زیادی برای مطالعات تفصیلی خاک وجود دارند، لیکن در بیشتر کشورها نقشههای با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و بزرگتر، بسیار کم تهیه شدهاند. مطالعات تفصیلی خاک، به غیر از افراد خبره، نیازمند زمان و هزینههای تقریباً زیادی میباشند (باقری بداغآبادی و همکاران، ۲۰۱۵). این عوامل در نقشهبرداری خاک برای مقیاسهای بزرگ بهشدت نقش محدودکننده دارند. به همین دلیل، پیشبینی و برآورد خاکها بر اساس ارتباط خاک و عوارضی که بهراحتی در سطح زمین قابل مشاهده و اندازهگیری باشند، بهطور گستردهای مورد استفاده قرار میگیرد. آنچه در این بین همواره برای خاکشناسان مورد بحث و بررسی است، ارایهی راهکارهایی برای کاهش زمان و هزینه و افزایش دقت نقشههای خاک بوده است. بنابراین، روشهای نوین که بهطور کلّی با عنوان "نقشهبرداری رقومی خاک" شناخته میشوند، پیشنهاد و ارایه شدهاند و همواره این روشها بهبود و افزایش مییابند.
نقشهبرداری رقومی خاک (DSM)، بیانگر یک مجموعه یا بستهی محاسبات رایانه ای برای پیشبینی پراکنش خاکها در زمینnما[۶] است. این مجموعه، از آغاز شناسایی و نقشهبرداری خاک، رشد و نمو یافته است و بر اساس پیشرفتهای بهوجود آمده در پردازش اطلاعات (از حدود ۳۰ سال پیش)، شکل گرفته است (بویی، ۲۰۰۷). همچنین، DSM سامانه هایی را برای اطلاعات مکانی خاک گردآوری و ایجاد میکند که میتواند کاربران را در تصمیمسازی برای رسیدگی به مسایل کشاورزی و کشاورزی-محیطی[۷] کمک کند (لاگاشریه و مکبراتنی، ۲۰۰۷).
شبکههای عصبی مصنوعی (ANNs) در علوم خاک، در زمینههای گوناگون (مانند شیمی خاک، فیزیک خاک، فرسایش خاک و غیره) مورد استفاده قرار گرفتهاند. مطالعات ناچیزی در رابطه با استفاده از شبکههای عصبی در زمینهی نقشهبرداری خاک موجود میباشند. از جمله نخستین پژوهشها در این زمینه، میتوان به مطالعهی لهمان و همکاران (۱۹۹۹) اشاره نمود که به الگوریتمهای یادگیری و ساختار شبکهی عصبی در زمینهی نقشهبرداری خاک پرداختهاند؛ لیکن دقت نقشههای خاک تهیهشده را مورد بررسی قرار ندادهاند. ژو (۲۰۰۰) با استفاده از منطق فازی، رویکرد شبکههای عصبی را برای ایجاد یک مدل تشابه خاک بهکار گرفت. خروجی این رویکرد، مجموعهای از اعداد تشابه برای کلاسهای خاک بود. نقشهی خاک حاصل از این پژوهش برای مدلهای هیدرولوژیکی در آبخیز مورد استفاده قرار گرفت. نتایج وی نشان داد که نقشهی خاک حاصل از شبکهی عصبی، دارای دقت بیشتری نسبت به نقشهی خاک سنتی است و بهعلاوه جزئیات مکانی بیشتری را هم شامل میشود. مککنزی و ریان (۱۹۹۹) بیان داشتند که استفاده از متغیرهای محیطی مناسب، مهمتر از انتخاب روش برآورد یا پیشبینی میباشد. بر همین اساس، بهرنس (۲۰۰۵) به توسعهی رویکردی بر پایهی شبکههای عصبی با بهکارگیری دادههای رقومی ارتفاع برای برآورد واحدهای خاک اقدام نمود و نتیجه گرفت که ترکیب ANN و DEM، علاوهبر صرفهجویی در زمان و هزینهها، نتایج قابل قبولی را در دسترس قرار داد. باقری بداغآبادی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از ANN و DEM اقدام به تهیهی نقشهی خاک نمودند. نتایج نشان داد که DEM به تنهایی نمیتواند در سطح فامیل نتایج دقیقی ارایه کند. در نقشهبرداری خاک (از جمله در مطالعات فوق) روشهای متعددی برای نمونهبرداری استفاده

[۶] Landscape
[۷] Agro-environmental

شده است که از آن بین روش شبکه‌بندی و روش آزاد (تعیین موقعیت خاکرخ بر اساس نظر کارشناس) بسیار مورد کاربرد است. این پژوهش به بررسی تأثیر و کارایی نظر افراد خبره در کاهش زمان و هزینه‌ها در نقشه‌برداری رقومی خاک با استفاده از روش ANN می‌پردازد.

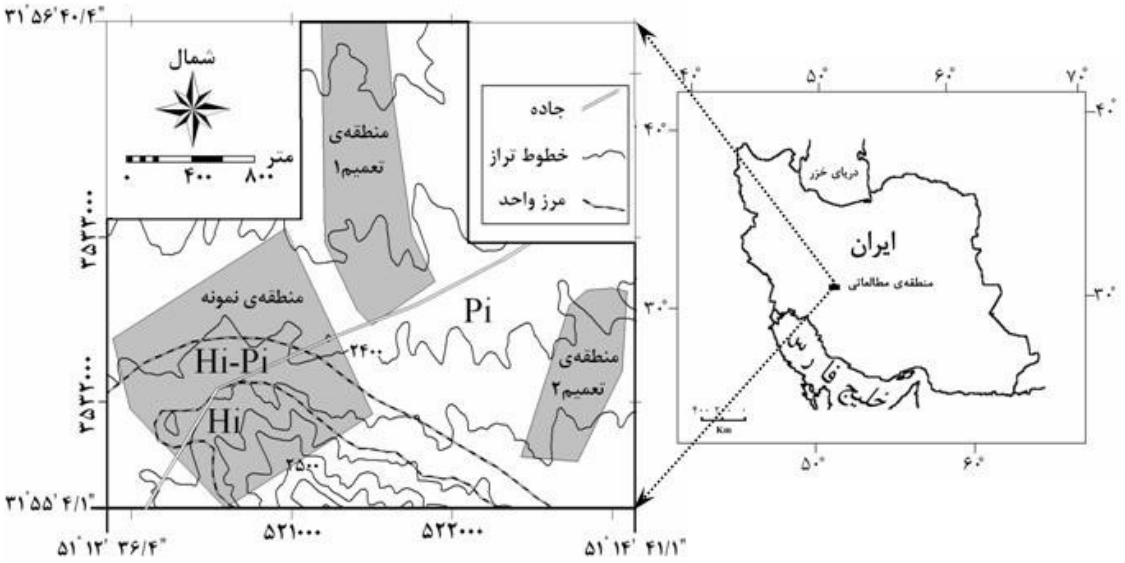
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعاتی

منطقه‌ی مطالعاتی به مساحت تقریبی ۹۰۰ هکتار و ارتفاع متوسط ۲۲۷۷ متر از سطح دریا در بین طول‌های جغرافیایی "۴/۳۶ ' ۵۱۰۱۲ تا "۱/۴۱ '۵۱۰۱۴ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۱/۴ '۳۱۰۵۵ تا "۴/۴۰ '۳۱۰۵۶ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین بارش سالانه‌ی منطقه، ۲۵۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه‌ی آن، ۷/۱۰ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک منطقه‌ی مطالعاتی، به‌ترتیب، زریک و مزیک می‌باشند. از دیدگاه زمین‌ریخت‌شناسی[۸]، منطقه‌ی مورد مطالعه، دو سیمای سرزمینی مختلف شامل اراضی تپه‌ماهوری[۹] و دامنه[۱۰] را در بر می‌گیرد. کشت آبی گندم و مرتع، مهم‌ترین کاربری‌های سرزمینی موجود در منطقه را شامل می‌شوند.

پایگاه داده‌های خاک

پایگاه داده‌های خاک در پژوهش حاضر، دربرگیرنده‌ی داده‌های مربوط به تعداد ۹۰ خاکرخ در منطقه‌ی نمونه، ۱۵ خاکرخ در منطقه‌ی تعمیم اول و ۲۰ خاکرخ در منطقه‌ی تعمیم دوم می‌باشد (خاکرخ‌ها در منطقه‌ی نمونه به روش شبکه‌ای با فواصل تقریبی ۱۲۵ متر و در مناطق تعمیم به‌صورت تصادفی مشخص شده‌اند). در کل، ۲۳ فامیل خاك مشاهده گردید که از این بین، هفت فامیل بیش از ۷۰ درصد مشاهدات را در بر می‌گیرند. جدول ۱ رده‌بندی هفت فامیل غالب خاك را نشان می‌دهند.



شکل ۱- موقعیت کل منطقه‌ی مطالعاتی، به‌همراه منطقه‌ی نمونه و مناطق تعمیم (Pi: دامنه؛ Hi-Pi: حدواسط دامنه و اراضی تپه‌ماهوری؛ Hi: اراضی تپه‌ماهوری).

جدول ۱- رده‌بندی هفت فامیل غالب خاك در منطقه

فامیل خاک	علامت فامیل	تعداد خاکرخ	فراوانی نسبی (٪)	علامت زیرگروه
Clayey-skeletal, Carbonatic, Mesic Petrocalcic Calcixerepts	A	۱۳	۴/۱۰	PCP
Fine, Carbonatic, Mesic Petrocalcic Calcixerepts	B	۱۳	۴/۱۰	PCP
Fine, Carbonatic, Mesic Typic Calcixerepts	C	۱۲	۶/۹	TCP
Fine, Mixed, Active, Mesic Typic Calcixerepts	D	۱۲	۶/۹	TCP
Fine-loamy, Carbonatic, Mesic Typic Calcixerepts	E	۱۳	۴/۱۰	TCP

[۸] Geomorphology
[۹] Hill-land
[۱۰] Piedmont

Loamy-skeletal, Carbonatic, Mesic Typic Calcixerepts	F	۱۲		
			۶/۹	TCP
Fine, Mixed, Active, Mesic Calcic Haploxeralfs	G	۱۴	۲/۱۱	CHF
کل		۸۹	۲/۷۱	

پایگاه داده‌های محیطی

داده‌های محیطی مورد نیاز در این پژوهش شامل داده‌های مربوط به ناهمواری‌ها (ویژگی‌های مدل رقومی ارتفاع یا DEM)، داده‌های زمین‌شناسی و داده‌های واحدهای ژئومرفیک می‌باشند. برای تهیه‌ی ویژگی‌های DEM، با استفاده از نقشه‌های ناهمواری‌های منطقه‌ی مطالعاتی (به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)، تصحیح‌های لازم بر روی مدل رقومی ارتفاع خریداری‌شده از سازمان نقشه‌برداری کشور (با اندازهی پیکسلی و دقت ارتفاعی ۱۰ متر) انجام گرفت. سپس ویژگی‌های اولیه و ثانویه‌ی مدل رقومی ارتفاع (ویلسون و گالانت، ۲۰۰۰) تهیه شدند.

ایجاد ماتریس داده‌های محیطی

داده‌های محیطی به سه صورت استخراج شدند. یکی بر اساس مکان خاک‌رخ‌ها در منطقه‌ی نمونه، دیگری بر اساس ۲۰ خاک‌رخ انتخاب‌شده توسط افراد خبره و سومی بر مبنای ۲۰ خاکرخ انتخاب‌شده به‌صورت تصادفی. برای این منظور، با استفاده از مختصات جغرافیایی هر کدام از خاکرخ‌ها نقشه‌ی مکان حفر خاکرخ‌ها تهیه شد و با به‌کارگیری عملیات تقاطع[۱۱]، مقدار عددی هر یک از ویژگی‌های مدل رقومی ارتفاع برای هر خاکرخ به‌دست آمد. به‌منظور تسهیل در انجام محاسبات و با توجه به این‌که برخی از کلاس‌های خاک، فراوانی ناچیزی داشتند؛ این کلاس‌ها از ماتریس اولیه حذف شدند و ادامه‌ی کار، تنها بر روی هفت فامیل خاک غالب (شامل ۸۹ خاک‌رخ) که حدود ۷۰ درصد پوشش خاکی منطقه‌ی مطالعاتی را شامل می‌شدند (جدول ۱)، انجام گرفت. دلیل دیگر انتخاب خاک‌های غالب این است که در گزارش‌های مرسوم خاک نیز خاک‌های غالب، ملاک نام‌گذاری، تفسیر و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در مرحله‌ی بعد، نقشه‌ی ناهمواری‌ها در اختیار افراد خبره قرار داده شد و ایشان بهترین مکان‌ها را برای حضور خاک‌های غالب و حفر خاک‌رخ تعیین نمودند. تعداد خاک‌رخ انتخاب‌شده برابر ۲۰ عدد در نظر گرفته شد. سپس، نقشه‌ی حاصل از مناطق مورد نظر کارشناس خبره با نقشه‌های به‌دست آمده از DEM تقاطع داده شدند و همانند آن‌چه در بالا گفته شد، ماتریس مورد نظر تهیه گردید. ماتریسهای گفته‌شده پایگاه داده‌های خاک- محیط را می‌سازند که پایه و اساس پژوهش حاضر را فراهم می‌کنند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، شبکه‌های محاسباتی انعطاف‌پذیری هستند که می‌توانند روابط غیرخطی پیچیده‌ی بین متغیرهای مربوط را شرح دهند (ریپلی، ۱۹۹۶). فرآیند محاسبه‌ی صحیح وزن‌های یک شبکه‌ی عصبی را برای حل یک مساله، در اصطلاح، آموزش یا یادگیری شبکه می‌نامند. هدف از آموزش یک شبکه، کمینه کردن خطای بین خروجی شبکه و مقدار مطلوب آن (هدف) است. موفقیت شبکه‌های عصبی را می‌توان ناشی از دو عامل اصلی زیر دانست:

۱) قدرت: شبکههای عصبی قادر به مدلسازی توابع بسیار پیچیده هستند.

۲) سهولت استفاده: در مقایسه با روشهای خطی و غیرخطی رگرسیونی، در شبکههای عصبی نیازی به تعیین شکل مدل نیست و تنها از طریق یادگیری، ساختار دادهها و رابطهی متغیرهای ورودی و خروجی کشف میشود (اسکاپ و همکاران، ۱۹۹۸).

در بیشتر مطالعات انجام‌شده، از مدل پرسپترون چندلایه (MLP) استفاده شده است. MLP با استفاده از داده‌های آموزشی، یک مدل بین داده‌های ورودی و خروجی می‌سازد. این مدل می‌تواند با استفاده از داده‌های ورودی معلوم، داده‌های خروجی نامعلوم را برآورد کند.

در این پژوهش، نقشه‌های خاک، به سه صورت تهیه شد. در حالت اول، تمام خاکرخ های حفر شده در فرآیند ANN بکار رفت. در حالت دوم، تنها از ۲۰ خاک‌رخ انتخاب‌شده توسط افراد خبره در منطقه‌ی نمونه استفاده شد. در حالت سوم نیز تنها از ۲۰ خاک‌رخ استفاده گردید که به‌صورت تصادفی در منطقه‌ی نمونه انتخاب شدند (این کار برای ۱۳ بار تکرار شد). لازم به ذکر است که چون تعداد ۲۰ خاکرخ برای فرآیند آموزش ANN کم است، برای هر خاکرخ، تعداد ۴ پیکسل (محدوده‌ی ۲*۲ پیکسل) انتخاب شد. در مرحله‌ی بعد، ماتریس درهمی برای نقشه‌های خاک تعیین گردید و صحت عمومی نقشه‌ها محاسبه شد.

[۱۱] Cross operation

ارزیابی نتایج از طریق محاسبه‌ی صحت عمومی نقشه[12] انجام گرفت. این ویژگی، به‌واسطه‌ی تشکیل ماتریس درهمی[13] و با توجه به فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد (باقری بداغ‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۵):

(۱)

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_{ii}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} X_{ij}}$$

که در آن، i و j، به‌ترتیب، بیان‌گر سطر iاُم و ستون jاُم برای مشاهده‌ی X موجود در ماتریس درهمی می‌باشند.
صحت عمومی نقشه (OA)، نشان‌دهنده‌ی آن است که چه تعداد از مشاهدات یا طبقات جداشده، صحیح می‌باشند. بهعبارت دیگر، چه اندازه از نمونه‌ها به‌درستی در طبقات مربوط جای گرفته‌اند.

نتایج و بحث

جدول ۲ مقادیر درصد صحت عمومی برای ویژگی مدل رقومی ارتفاع بههمراه ژئوفرم را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تفاوت چندانی بین نتایج افراد خبره و روش شبکه‌بندی وجود ندارد. بهعبارتی، به‌نظر می‌رسد که افراد خبره یا کارشناسان نتوانسته‌اند سبب بهبود برآورد خاک‌ها شوند. ولی باید توجه داشت که این نتایج بر اساس ۲۰ خاکرخ به‌دست آمده‌اند؛ در حالی که بدون نظر افراد خبره با ۵۴ خاکرخ این کار صورت گرفته است. بنابراین، تأثیر نظر کارشناسان در کاهش زمان و هزینه‌ها بهخوبی نمایان است. از آن‌جا که برای ارزیابی دقیق، باید تعداد خاک‌رخ‌ها در هر دو حالت برابر باشند، در منطقه‌ی نمونه، ۲۰ خاک‌رخ به‌طور تصادفی انتخاب شدند. به‌منظور جلوگیری از اُریب شدن نتایج، انتخاب تصادفی خاک‌رخ‌ها ۱۳ بار تکرار گردید. همان‌طور که ملاحظه می‌شود (جدول ۲)، صحت عمومی برای درون‌یابی‌ها و برون‌یابی‌ها بر اساس ۲۰ خاک‌رخ تصادفی، تفاوت چشم‌گیری با ۲۰ خاک‌رخ انتخاب‌شده توسط افراد خبره دارد. به‌عبارت دیگر، نتایج نشان می‌دهند که نظر افراد خبره یا کارشناسان سبب بهبود برآورد خاک‌ها شده است. به‌طور میانگین و بدون نظر افراد خبره، صحت در برون‌یابی، حدود ۵۰ درصد (۸/۱۵ در مقابل ۲/۳۶) و در درون‌یابی، حدود ۲۸ درصد (۱/۵۵ در مقابل ۸/۷۵) کم‌تر از حالتی است که با نظر افراد خبره خاک‌رخ‌ها انتخاب شدند. صحت برای آموزش شبکه (OA_{train}) در هر دو حالت، تقریباً برابر است (۹۵ درصد) که این موضوع، بیان‌گر کارآیی خوب و یکسان شبکه عصبی در هر دو حالت است. در مجموع، نتایج حاصل بهخوبی تأثیر نظر افراد خبره یا کارشناسان را هم در افزایش بهبود برآورد خاک‌ها و هم در کاهش زمان و هزینه‌ها نشان می‌دهند.

جدول ۲: درصد صحت عمومی برای نقشه‌های خاک بر اساس سه روش نمونه‌برداری

ترکیب ویژگی‌های مدل رقومی ارتفاع*	صحت عمومی برای سطح فامیل خاک		
	OA_{valid}	OA_{test}	OA_{train}
تمام خاکرخ‌ها	۱/۳۵	۵/۷۴	۳/۹۳
۲۰ خاکرخ افراد خبره	۲/۳۶	۸/۷۵	۳/۹۵
میانگین ۱۳ تکرار برای ۲۰ خاکرخ تصادفی	۸/۱۵	۱/۵۵	۴/۹۵

* همه ویژگی‌های مشتق از DEM به همراه ژئوفرم

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی می‌توانند پراکنش خاک‌ها را با استفاده از داده‌های پایه (مانند ویژگی‌های DEM و واحدهای ژئومورفیک) تعیین کنند. بر اساس نتایج کسب‌شده، نقش و اهمیت ویژگی‌های DEM در مدل‌سازی خاک- زمین‌نما به‌خوبی نمایان می‌باشند (به‌ویژه در فرآیند درون‌یابی). استفاده از نظر افراد خبره، علاوه‌بر این‌که می‌تواند در دقت و صحت نقشه تأثیرگذار باشد؛ تأثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌ها و زمان دارد.

منابع

اسفندیارپور بروجنی ع، صالحی م ح، تومانیان ن و محمدی ج. ۱۳۸۸. تأثیر موقعیت منطقه‌ی نمونه و نظر کارشناس بر نتایج روش ژئوپدولوژی در نقشه‌برداری خاک (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی بروجن، استان چهارمحال و بختیاری). مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ویژه‌نامه‌ی علوم آب و خاک، شماره‌ی چهل و نهم، صفحات ۱۱۳ تا ۱۲۷.

[12] Overall map accuracy
[13] Confusion matrix

Bagheri Bodaghabadi M, Mart´ nez-Casasnovas J A, Salehi M H, Mohammadi J, Esfandiarpoor Borujeni I, Toomanian N, Gandomkar A. ۲۰۱۵. Digital soil mapping using artificial neural networks and terrain-related attributes.Pedosphere. ۲۵(۴): ۵۸۰-۵۹۱.

Behrens, T., H. Forster, T. Scholten, U. Steinrucken, E.D. Spies and M. Goldschmitt. ۲۰۰۵. Digital soil mapping using artificial neural networks. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, ۱۶۸(۱): ۲۱-۳۳.

Bui, E.N., ۲۰۰۷, A review of digital soil mapping in australia, Digital soil mapping An Introductory Perspective, Developments in Soil Science, ۳۱ : ۲۵-۳۷.

Lagacherie P. and McBratney A.B. ۲۰۰۷. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. Digital soil mapping: An introductory perspective. Developments in Soil Science, ۳۱ : ۳-۲۲.

Lehmann, D., Billen, N., Lenz, R., ۱۹۹۹. Anwendung von Neuronalen Netzen in der Landschafts kologie ± Synthetische Boden kartierung im GIS, in Strobl, J., Blaschke, T.: Anwendung von Neuronalen Netzen in der Landschafts kologie - Synthetische Bodenkartierung im GISBook. Wichmann, Heidelberg, ۳۳۰- ۳۳۶.

McKenzie, N.J. and Ryan, P.J., ۱۹۹۹. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation, Geoderma, ۸۹ : ۶۷-۹۴.

Ripley, B.D., ۱۹۹۶. Pattern recognition and neural networks. Cambridge University Press, Cambridge, N.Y.

Schaap, M. G., F. L. Leij and M. Th. van Genuchten. ۱۹۹۸. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. Soil Sci. Soc. Am.J., ۶۲ :۸۴۷-۸۵۵.

Zhu A.X., ۲۰۰۰. "Mapping soil landscape as spatial continua: the neural network approach", Water Resour Res, ۳۶(۳): ۶۶۳-۶۷۷.

Abstract

There are various methods to predict and determine soils and also to sample in soil survey, in which free sampling and grid methods have been used a lot. The study investigates assessment of the expert knowledge's effect and prediction method to reduce the time and the cost of digital soil mapping using Artificial Neural Networks (ANN). To run ANN, ۹۰ profiles in grid sampling and ۲۰ profiles, selected by experts, were used. Results showed an acceptable and accurate prediction of different soils using axillary data including DEM attributes and geomorphic data. In addition, results proved the expert knowledge have a significant effect in reducing the time and costs of soil survey, so that the ۲۰ profiles (selected by experts) showed a prediction as well as the ۵۴ profiles in grid method sampling.