

مقایسه‌ی توانایی نقشه‌های سنتی و رقومی در بیان پراکنش خاک‌ها با استفاده از شاخص‌های تفرق

زهرة مصلح^{*۱} - محمدحسن صالحی^۲ - اعظم جعفری^۳ - عیسی اسفندیارپور بروجنی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۶

چکیده

برای بررسی توانایی روش‌های نقشه‌برداری خاک (سنتی و رقومی) در توصیف پراکنش خاک‌ها در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر، تشریح و نمونه‌برداری شدند. نقشه‌های سنتی خاک در دو مرحله‌ی جداگانه در سطوح گروه بزرگ و زیرگروه تهیه گردیدند. همچنین، نقشه‌های رقومی کلاس‌های خاک در دو سطح رده‌بندی مذکور با مدل رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای تهیه شدند. سپس، واحدهایی که در نقشه‌های سنتی دارای فراوانی بیشتری بودند انتخاب و همان واحدها بر روی نقشه‌های رقومی قرار داده شدند. شاخص تفرق شانن در هر یک از نقشه‌ها برای دو سطح رده‌بندی مزبور تعیین گردید و اختلاف میانگین آن‌ها بین دو نقشه از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای اکثر واحدها در هر دو سطح رده‌بندی، تفرق شانن برای نقشه‌های رقومی بیشتر از نقشه‌های سنتی است و در سطح گروه بزرگ و زیرگروه این اختلاف، به ترتیب، برای ۷۵ و ۵۰ درصد از واحدها در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. با توجه به واقعیت پیچیدگی پراکنش خاک‌ها و تغییرات پیوسته‌ی آن‌ها به نظر می‌رسد که جدا کردن مرز دقیق کلاس‌های خاک غیر ممکن است و شاخص‌های تفرق نیز این موضوع را تأیید نموده و توانسته‌اند توانایی روش نقشه‌برداری رقومی را در بیان توصیف پراکنش خاک‌ها نشان دهند. پس از آگاهی از تغییرات مکانی خاک، نحوه‌ی مدیریت آن چالش بسیار مهمی است که هنوز نیازمند بهبود و توسعه‌ی دستگاه‌ها و ابزارهای مدیریتی است و انتظار می‌رود در آینده‌ی نزدیک، شاهد تغییر نحوه‌ی مدیریت اراضی با فنون و روش‌های نوین باشیم.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون لاجیستیک، شاخص‌های تفرق، روش‌های نقشه‌برداری خاک

مقدمه

مدیریت صحیح منابع به میزان شناخت ما از توزیع مکانی خاک و ویژگی‌های آن بستگی دارد (۴). نقشه‌های خاک از جمله مهم‌ترین منابع اطلاعاتی هستند که در این زمینه به کار برده می‌شوند (۲۱ و ۲۳). بنیان‌گذاری نتایج نقشه‌برداری سنتی بر مبنای خاک‌رخ شاهد و تعمیم نتایج آن به کل واحد نقشه، ترسیم دستی نقشه‌ها و افزایش خطای ناشی از سلیقه‌ی شخصی و در نظر نگرفتن تغییرات مکانی خاک، از جمله‌ی مهم‌ترین محدودیت‌های روش نقشه‌برداری سنتی می‌باشند. با وجود اینکه نقشه‌های سنتی خاک برای ارائه‌ی اطلاعات کمی از تغییرپذیری خاک ناکارآمد می‌باشند ولی در بسیاری از

مطالعات محیطی استفاده می‌شوند (۱۳). صالحی و همکاران (۱۶) بیان نمودند که درون واحدهای نقشه‌ی خاک تفصیلی نیز خاک‌های متفاوتی وجود دارند و در نتیجه این امکان وجود دارد که این‌گونه نقشه‌ها نتوانند اطلاعات کافی و قابل اعتمادی برای استفاده در کشاورزی دقیق و مدیریت پایدار فراهم نمایند. زیادت (۲۳) بیان می‌کند که نقشه‌های سنتی خاک در انعکاس صحیح و دقیق ماهیت پویا و تغییرپذیر خاک ناکارآمد هستند.

پیشرفت در فناوری اطلاعات، تمامی علوم را قادر کرده است تا تقاضاهای جدید زندگی امروزه‌ی بشر را پاسخگو باشند. پدولوژی نیز از این قاعده مستثنی نبوده و نیازمند به‌کارگیری روش‌ها و فنون جدید در نمونه‌برداری، تجزیه‌های آزمایشگاهی، پردازش و تفسیر اطلاعات خاک است. در این زمینه، نقشه‌برداری رقومی، با بررسی تغییرات پیوسته‌ی خاک، تلاش می‌کند تا بر اساس پارامترهای محیطی که به‌سادگی قابل دست‌یابی یا محاسبه هستند؛ کلاس‌های خاک را پیش‌بینی نماید. در این روش، تکنیک‌های مختلفی مانند رگرسیون لاجیستیک، شبکه‌های عصبی مصنوعی و طبقه‌بندی درختی می‌توانند

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد
(* - نویسنده مسئول: Email: mosleh.zohreh@yahoo.com)

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی، به‌ترتیب، زیریک و مزیک می‌باشند. خاک‌های این منطقه به‌طور عمده بر روی رسوبات رسی و سیلتی مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی (دوره‌ی کواترنری) تشکیل شده‌اند و بخش اعظم این دشت به‌واسطه‌ی زمین‌های حاصلخیز، تحت کشت قرار دارد. کاربری عمده‌ی اراضی در این منطقه، کشت آبی گندم، یونجه و ذرت می‌باشد.

مطالعات صحرائی، آزمایشگاهی و رده‌بندی خاک‌ها

با توجه به نقشه‌ی خاک موجود برای منطقه‌ی مورد مطالعه و بر اساس مطالعات خاکشناسی نیمه‌تفصیلی (۱۵)، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر گردید. تمامی خاک‌رخ‌های حفرشده، بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (۱۷) تشریح گردیدند و از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک، بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. بر اساس اطلاعات حاصل از مشاهدات صحرائی و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، رده‌بندی خاک‌رخ‌ها بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی (۱۸) تا سطح زیرگروه نهایی گردید.

تهیه‌ی نقشه‌های سنتی خاک

بر مبنای تفسیر عکس‌های هوایی (با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰)، نقشه‌ی زمین‌شناسی (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)، تصاویر گوگل ارث (تا حدی از بزرگمایی که تصاویر به‌طور کامل قابل مشاهده بودند) و نیز بازدیدهای صحرائی، نقشه‌ی اولیه‌ی خاک تهیه گردید. سپس، نقشه‌ی موقعیت مکانی خاک‌رخ‌های حفرشده بر روی نقشه‌ی اولیه‌ی خاک قرار داده شد. بر مبنای اطلاعات موجود در کارت تشریح خاک‌رخ‌ها، در دو مرحله‌ی جداگانه، نوع واحد نقشه و به تبع آن، خاک‌رخ (های) شاهد در دو سطح گروه بزرگ و زیرگروه، تعیین و در نهایت بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی، نقشه‌های خاک نهایی (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) تهیه گردیدند. نقشه‌های سنتی خاک تهیه‌شده در شکل ۱ و راهنمای نقشه‌های تهیه‌شده در سطح گروه بزرگ و زیرگروه، به‌ترتیب، در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

تهیه‌ی نقشه‌ی رقومی خاک

در این پژوهش برای تهیه‌ی نقشه‌های رقومی، مدل‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفتند که از میان آن‌ها، مدل رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای با صحت عمومی^۴ ۶۶ و ۵۰ درصد، به‌ترتیب در سطح

استفاده شوند (۱ و ۸).

تغییرپذیری خاک‌ها متأثر از فاکتورها و فرآیندهای خاکساز می‌باشد و برآیند این عوامل بر میزان تنوع آن‌ها تأثیر می‌گذارد. استفاده از شاخص‌های تنوع ژنتیکی شامل شاخص‌های غنی‌شدگی^۱، همواری^۲ و تفرق^۳ به‌عنوان معیارهای اندازه‌گیری پراکندگی اولین بار توسط ایبازن و همکاران (۹) مطرح شد. تفرق خاک، مفهومی متفاوت برای کمی‌کردن تغییرپذیری خاک می‌باشد که در دهه‌های اخیر از آن در علوم خاک استفاده شده است (۱۱، ۲۰، ۶ و ۷). اسفندیارپور بروجنی و صفری (۷) استفاده از شاخص‌های تفرق را راهکاری مفید برای بررسی تغییرات درون واحدهای نقشه‌ی خاک معرفی نمودند.

اگرچه تفرق کلاس‌های خاک در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است اما تا کنون توانایی روش‌های مختلف نقشه‌برداری برای بیان وضعیت پراکنش خاک‌ها در یک واحد مشخص با استفاده از این شاخص‌ها مورد توجه کافی قرار نگرفته است. همچنین، در مطالعات قبلی، نقشه‌ی خاک در سطح مشخصی از رده‌بندی تهیه و سپس در همان نقشه، میزان تفرق برای یک توالی سلسله‌مراتبی از سطوح رده‌بندی خاک تعیین شده است؛ در صورتی که به‌نظر می‌رسد اگر این مقایسه بین نقشه‌هایی که در سطوح مختلف رده‌بندی تهیه شده‌اند صورت پذیرد تأثیر سطح رده‌بندی در بیان تفرق کلاس‌های خاک مشخص می‌گردد. بنابراین، در پژوهش حاضر، توانایی روش‌های نقشه‌برداری سنتی و رقومی خاک برای بیان تفرق کلاس‌های خاک در نقشه‌های تهیه‌شده در سطوح گروه بزرگ و زیرگروه در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه شامل بخشی از اراضی دشت شهرکرد می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی ۴۷° ۵۰ تا ۵۱° ۰۰' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۱۳° ۳۲ تا ۲۳° ۳۲ شمالی قرار گرفته است و مساحتی بالغ بر ده هزار هکتار را شامل می‌شود. میانگین ارتفاع منطقه از سطح دریا ۲۰۵۰ متر می‌باشد. به استناد آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرکرد (سایت اداره‌ی کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری)، میانگین بارندگی و دمای سالیانه‌ی منطقه در یک دوره‌ی آماری ۶۰ ساله (سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۳)، به ترتیب، ۳۱۷ میلی‌متر و ۲۳ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. رژیم‌های

1- Richness

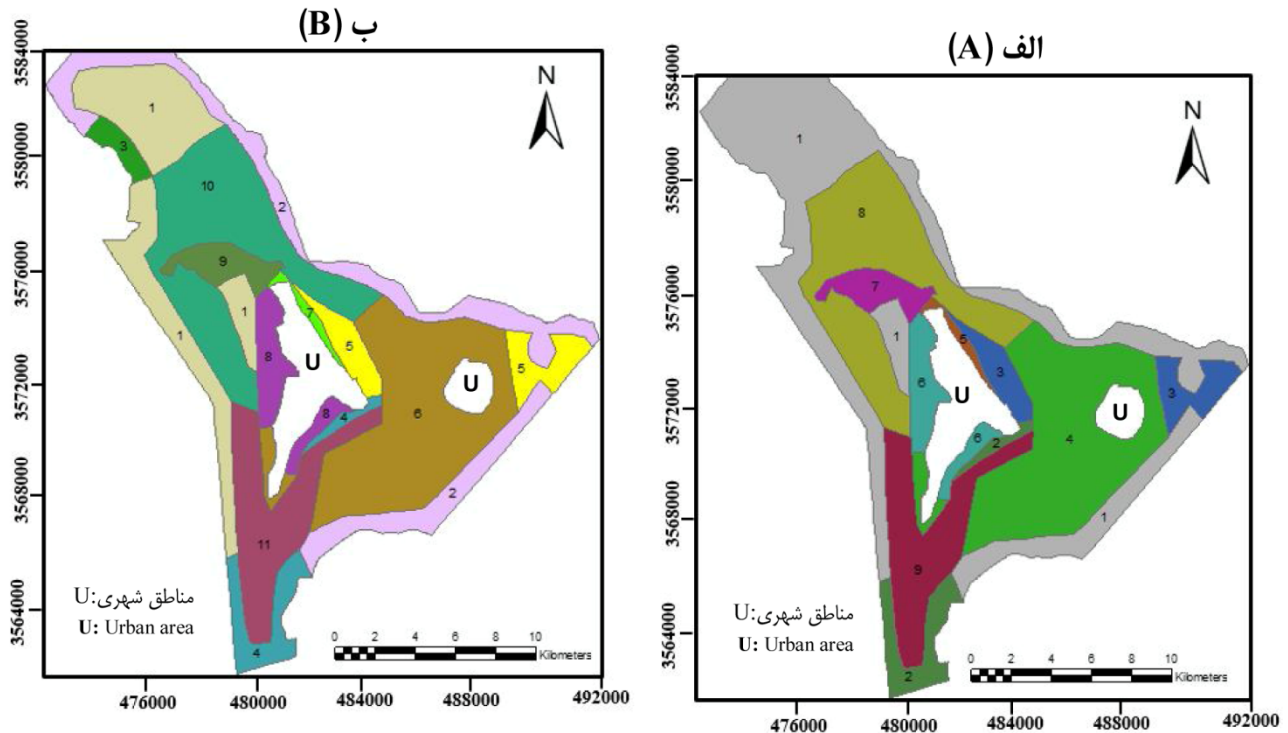
2- Evenness

3- Diversity

4- Overall accuracy

دلیل این مدل برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک استفاده شد.

گروه بزرگ و زیرگروه، دارای بالاترین صحت عمومی بود. به همین



شکل ۱- نقشه‌ی خاک تهیه شده به روش سنتی در سطح گروه بزرگ (الف) و زیرگروه (ب)
Figure 1. Conventional soil maps at great group (A) and subgroup (B) levels.

سطوح رده‌بندی مورد نظر (گروه بزرگ و زیرگروه) به همراه پارامترهای محیطی (ویژگی‌های اولیه و ثانویه‌ی مدل رقومی ارتفاع، شاخص‌های سنجش از دور، نقشه‌ی زمین‌شناسی، نقشه‌ی خاک و نقشه‌ی ژئومورفولوژی) برای مدل تعریف شدند و سپس، بر مبنای ارتباط پارامترهای محیطی با پراکنش خاک‌ها، پیش‌بینی صورت گرفت. برای تهیه‌ی نقشه‌های رقومی نیمه‌تفصیلی (۱:۵۰۰۰۰)، مطابق با اندازه‌ی پیکسلی پیشنهاد شده برای نقشه‌برداری در سطح نیمه‌تفصیلی، تمامی پارامترهای محیطی به نقشه‌های رستری با اندازه‌ی پیکسل ۵۰ متر تبدیل شدند (۱۰). مدل‌سازی با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری caret و در محیط نرم‌افزار R انجام شد. مدل مورد استفاده با داده‌های آموزشی برازش داده شد و سپس پیش‌بینی بر اساس داده‌های اعتبارسنجی صورت گرفت. نقشه‌های پیش‌بینی شده با استفاده از این روش، برای سطوح گروه بزرگ و زیرگروه در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

محاسبه‌ی تفرق کلاس‌های خاک

در این پژوهش، واحدهایی که در هر یک از نقشه‌های سنتی خاک در سطوح گروه بزرگ و زیرگروه دارای فراوانی بیشتری بودند برای بررسی تفرق کلاس‌های خاک، انتخاب شدند.

جدول ۱- راهنمای نقشه خاک در سطح گروه بزرگ

Table 1- Legend of soil map at great group level.

نماد Symbol	واحد نقشه Map unit
1	Calcixerepts
2	Epiaquepts
3	Haploxerepts
4	A-B Association A: Haploxerepts B: Calcixerepts
5	A-B Association A: Epiaquepts B: Halpoxerals
6	A-B Association A: Epiaquepts B: Haploxerepts
7	A-B Association A: Haploxerals B: Calcixerepts
8	A-B Association A: Calcixerepts B: Haploxerals
9	A-B Association A: Haploxerepts B: Epiaquepts

برای این منظور، کلاس‌های خاک در دو مرحله‌ی مجزا در

سپس، همین واحدها بر روی نقشه‌های رقومی قرار داده شدند و بار دیگر تفرق آن‌ها تعیین گردید.

در این مطالعه، هر یک از واحدهای نقشه‌ی خاک به‌عنوان یک جامعه در نظر گرفته شدند. خاک‌رخ‌های حفرشده و پیکسل‌های موجود، به‌ترتیب، به‌عنوان افراد جامعه در نقشه‌های سنتی و رقومی خاک تلقی شدند. برای تعیین میزان تغییرپذیری خاک‌ها در واحدهای نقشه از شاخص‌های غنی‌شدگی (S)، همواری (E) و شانن (H') استفاده گردید که با استفاده از روابط زیر محاسبه گردیدند:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i \quad (1)$$

که در این رابطه، p_i عبارت است از $\frac{n_i}{N}$ که n_i بیان‌گر تعداد اجزای متعلق به واحد i ام و N ، تعداد کل اجزای مورد مطالعه می‌باشد.

$$E = H' / \ln S \quad (2)$$

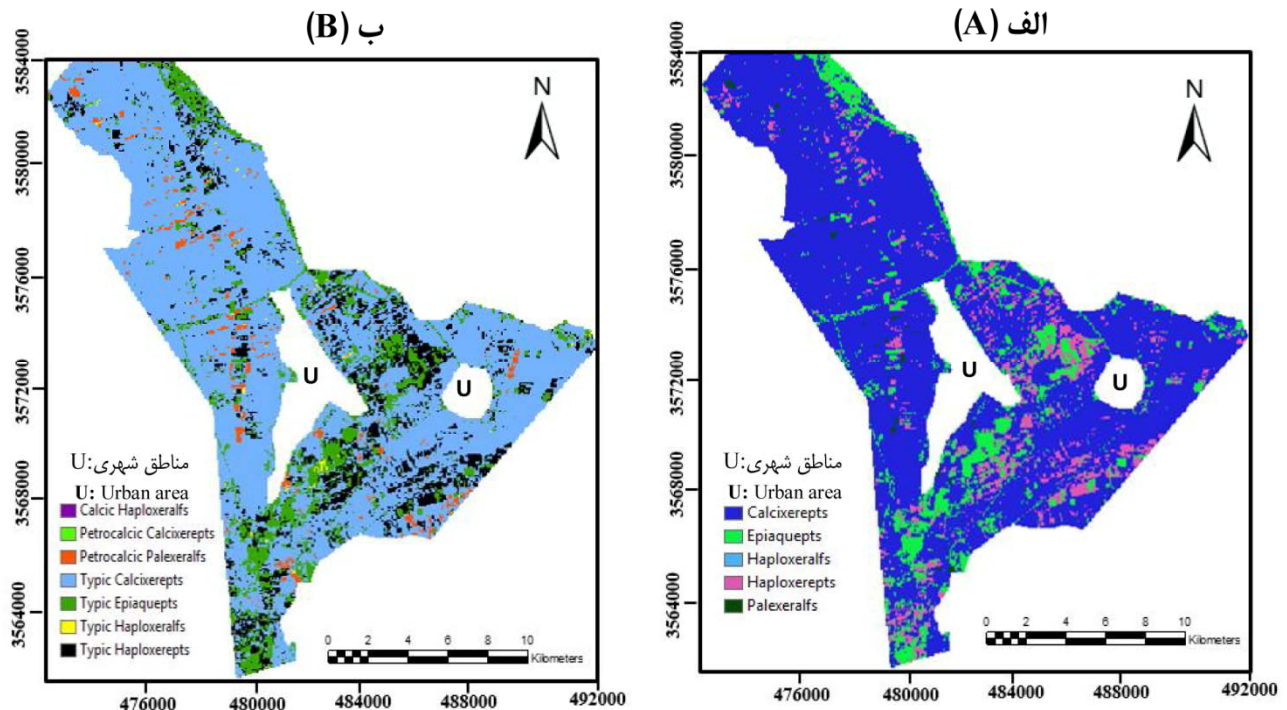
در این رابطه، S ، غنای گونه‌ها یعنی تعداد کلاس‌های خاک در هر واحد نقشه می‌باشد.

اگر شاخص تفرق شانن برای جوامع مختلف محاسبه شود، شاخص‌های محاسبه‌شده از توزیع نرمال تبعیت خواهند نمود (۱۹). بنابراین، برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین تفرق شانن برای یک واحد نقشه در نقشه‌های سنتی و رقومی، از روابط شماره ۳ تا ۵ استفاده گردید:

جدول ۲- راهنمای نقشه خاک در سطح زیرگروه

Table 2- Legend of soil map at subgroup level.

نماد Symbol	واحد خاک Map unit
1	A-B Association A: Typic Calcixerepts B: Petrocalcic Calcixerepts
2	Typic Calcixerepts A-B Association
3	A: Petrocalcic Calcixerepts B: Typic Calcixerepts
4	Typic Epiaquepts
5	Typic Haploxerepts A-B Association
6	A: Typic Haploxerepts B: Typic Calcixerepts A-B Association
7	A: Typic Epiaquepts B: Calcic Haploxeralfs A-B Association
8	A: Typic Epiaquepts B: Typic Haploxerepts A-B Association
9	A: Calcic Haploxeralfs B: Petrocalcic Calcixerepts A-B Association
10	A: Typic Calcixerepts B: Calcic Haploxeralfs A-B Association
11	A: Typic Haploxerepts B: Typic Epiaquepts



شکل ۲- نقشه‌ی خاک تهیه شده به روش رقومی در سطح گروه بزرگ (الف) و زیرگروه (ب)

Figure 2. Digital soil maps at great group (A) and subgroup (B) levels.

۱۴، ۱۶ و ۲۳) مبنی بر عدم توانایی روش نقشه برداری سنتی در بیان ماهیت تغییرپذیر مکانی خاک‌ها، همخوانی دارد.

همچنین نتایج نشان داد زمانی که سطح رده‌بندی از گروه بزرگ به زیرگروه تغییر می‌کند اختلاف معنی‌دار بین شاخص تفرق محاسبه شده بر مبنای روش‌های نقشه برداری سنتی و رقومی کمتر است (جدول‌های ۴ و ۶). این موضوع شاید به این دلیل است که در این سطح، تفکیک واحدهای نقشه‌ی خاک با بررسی جزئیات بیش‌تری صورت گرفته است. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۶) نشان دادند که شاخص تفرق شانن از سطح رده به سمت فامیل خاک افزایش می‌یابد و تنها در سطح فامیل خاک، تفاوت معنی‌داری بین میانگین تفرق خاک‌های منطقه‌ی نمونه و تعمیم وجود دارد. تومانیان و همکاران (۲۰) با مطالعه‌ی دره‌ی زاینده رود در اصفهان نشان دادند که با پایین رفتن از سطح سیمای اراضی به سمت سطوح ژئومورفیک، شاخص تفرق شانن افزایش می‌یابد.

بر اساس نتایج این پژوهش، روش نقشه برداری سنتی، اکثر واحدهای جدا شده در سطح گروه بزرگ و زیرگروه را همگون و یا در نهایت آن‌ها را اجتماع تعیین کرده است (جدول‌های ۱ و ۲). در این روش، واحدی که اجتماع نامیده می‌شود کاربر آن نقشه فقط از حضور دو یا چند خاک، درصد نسبی و در نهایت مکان تقریبی آن‌ها بر اساس گزارش خاکشناسی آگاهی پیدا می‌کند اما هیچ‌گاه نمی‌تواند در مورد مکان دقیق قرارگیری هر یک از خاک‌ها و تغییرپذیری آن‌ها اطلاعاتی کسب نماید. نقشه‌ی سنتی در سطح گروه بزرگ، واحدهای شماره‌ی ۱، ۲ و ۳ و در سطح زیرگروه، واحدهای شماره‌ی ۱، ۲، ۴ و ۵ را همگون در نظر می‌گیرد (جدول‌های ۱ و ۲). در صورتی که نتایج تفرق خاک (جدول‌های ۳ و ۵) مؤید آن هستند که اگر تمامی خاک‌های حفر شده در هر یک از واحدهای مورد مطالعه بررسی گردند اطلاعات در رابطه با توصیف و پراکنش خاک‌ها به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. بنابراین، قابلیت اعتماد به نتایج روش نقشه برداری سنتی به دلیل در نظر نگرفتن تغییرات مکانی، بسیار پایین‌تر است. اگرچه انتخاب خاک‌رخ شاهد به‌منظور کاهش هزینه‌ها و زمان انجام مطالعات برای تهیه‌ی نقشه‌های خاک در روش سنتی از مزیت نسبی برخوردار است ولی از طرف دیگر به دلیل در نظر نگرفتن تغییرپذیری خاک‌ها، اعتماد به نتایج حاصل از آن بسته به میزان تغییرات خاک درون واحدهای نقشه، سطح رده‌بندی و سطح نقشه برداری، کمتر خواهد بود (۱۶ و ۲۳). از طرف دیگر، نقشه برداری رقومی خود را از قید و بند مرز واحدها رها نموده و تلاش می‌کند تا تغییرات پیوسته خاک را توصیف نماید.

$$t = (H'_1 - H'_2) / (\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^{1/2} \quad (۳)$$

در این رابطه، H'_i و $\text{Var } H'_i$ ، به ترتیب، شاخص تفرق محاسبه شده و واریانس تفرق محاسبه شده برای واحد i ام در نقشه‌های سنتی و رقومی می‌باشند. مقدار واریانس تفرق از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{Var } H'_i = \{[\sum_{i=1}^n p_i (\ln p_i)^2 - (\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i)^2] / N\} + \{(S - 1) / 2N^2\} \quad (۴)$$

همچنین، درجه آزادی لازم برای قرائت t ی جدول، با استفاده از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$d.f = (\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^2 / \left\{ \left[\frac{(\text{Var } H'_1)^2}{N_1} \right] + \left[\frac{(\text{Var } H'_2)^2}{N_2} \right] \right\} \quad (۵)$$

در صورتی که مقدار t ی محاسبه شده، بزرگتر از t ی جدول باشد؛ فرض صفر مبنی بر یکسان بودن میانگین تفرق هر واحد در نقشه‌های سنتی و رقومی، رد می‌شود.

نتایج و بحث

مقادیر تفرق برای واحدهای مورد مطالعه بر مبنای نقشه‌های سنتی و رقومی در سطح گروه بزرگ در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بر مبنای نقشه‌ی خاک تهیه شده در سطح گروه بزرگ، برای اکثر واحدهای مورد مطالعه، میزان شاخص همواری، غنی‌شدگی و تفرق شانن برای نقشه‌های رقومی بیشتر از نقشه‌های سنتی می‌باشد (جدول ۳). نتایج مقایسه‌ی آماری شاخص تفرق برای نقشه‌های تهیه شده در سطح گروه بزرگ در جدول ۴ ارائه شده‌اند. بر اساس اطلاعات به دست آمده از این جدول می‌توان بیان نمود که در ۷۵ درصد از واحدهای مورد مطالعه، این اختلاف در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

مقادیر شاخص‌های پراکنندگی برای روش‌های مختلف نقشه برداری خاک در سطح زیرگروه در جدول ۵ نشان داده شده‌اند. نتایج این جدول نیز حاکی از آن است که شاخص غنی‌شدگی برای تمامی واحدهای مورد مطالعه با استفاده از روش نقشه برداری رقومی بیشتر از روش سنتی است. همچنین، اختلاف تفرق شانن به دست آمده از نقشه‌های سنتی و رقومی خاک در سطح زیرگروه برای ۵۰ درصد از واحدهای مورد مطالعه، در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۶). بر مبنای این نتایج می‌توان بیان نمود که روش نقشه برداری سنتی خاک نتوانسته است ماهیت پویا و تغییرپذیر خاک را به خوبی توجیه نماید که با نتایج بسیاری از پژوهشگران دیگر (۲،

جدول ۳- مقادیر تفرق برای واحدهای نقشه‌ی خاک در سطح گروه بزرگ
Table 3- Diversity indices for soil map units at great group level

شماره واحد Number of map unit	نوع نقشه خاک Type of map unit	کلاس‌های خاک Soil classes	n_i	N	S	H'	H'_{max}	E
1	سنتی Conventional	Calcixerepts	36	10859	5	0.47	1.6	0.29
		Haploxerepts	1					
		Palexeralfs	1					
	رقومی Digital	Calcixerepts	9180					
		Epiaquepts	1223					
		Haploxeralfs	4					
2	سنتی Conventional	Haploxerepts	412	1449	4	0.93	1.38	0.67
		Calcixerepts	840					
		Epiaquepts	376					
	رقومی Digital	Haploxerepts	214					
		Calcixerepts	2					
		Palexeralfs	19					
3	سنتی Conventional	Epiaquepts	2	1170	4	0.36	1.38	0.26
		Haploxerepts	2					
		Calcixerepts	1040					
	رقومی Digital	Epiaquepts	48					
		Haploxerepts	81					
		Palexeralfs	1					
4	سنتی Conventional	Calcixerepts	6	8812	4	0.76	1.38	0.55
		Haploxerepts	11					
		Epiaquepts	4					
	رقومی Digital	Haploxeralfs	2					
		Calcixerepts	6293					
		Epiaquepts	1088					
		Haploxerepts	1424					
		Palexeralfs	7					

n_i : تعداد اجزای متعلق به i امین کلاس، S: غنای کلاس، H' : شاخص تفرق شانن، H'_{max} : تفرق حداکثر، E: شاخص همواری
evenness: E, maximum entropy: H'_{max} , Shannon's entropy: H' , Richness: S, abundance of class i : n_i

جدول ۴- مقایسه‌ی آماری شاخص تفرق برای واحدهای نقشه‌ی خاک در سطح گروه بزرگ
Table 4- Mean comparison of Shannon's diversity index for soil map units at great group level

شماره واحد Number of map unit	تفرق شانن Shannon's diversity		واریانس تفرق شانن Shannon's diversity Variance		درجه آزادی df	آماره‌ی t
	سنتی Conventional	رقومی Digital	سنتی Conventional	رقومی Digital		
	1	0.191	0.47	0.017		
2	0	0.93	0	0.00028	1444	58***
3	0	0.36	0	0.0006	1200	15***
4	1.15	1.38	0.015	0.00006	22.6	1.88

*** و * به ترتیب، در سطح احتمال ۰/۰۰۱ و ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشد

*** and * Significant at 0.001 and 0.05 probability levels, respectively.

جدول ۵- مقادیر تفرق برای واحدهای نقشه‌ی خاک در سطح زیرگروه

Table 5- Diversity indices for soil map units at subgroup level

شماره واحد Number of map unit	نوع نقشه خاک Type of map unit	کلاس‌های خاک Soil classes	n_i	N	S	H'	H'_{max}	E					
1	سنتی Conventional	Typic Calcixerepts	10	15	3	0.76	1.09	0.69					
		Petrocalcic Calcixerepts	4										
		Typic Palexeralfs	1										
		Calcic Haploxeralfs	2										
		Petrocalcic Palexeralfs	70										
	رقومی Digital	Typic Calcixerepts	2714	3329	6	0.61	1.7	0.35					
		Typic Epiaquepts	275										
		Typic Haploxeralfs	10										
		Typic Haploxerepts	258										
		Typic Calcixerepts	13										
2	سنتی Conventional	Petrocalcic Calcixerepts	1	15	3	0.44	1.09	0.4					
		Typic Haploxerepts	1										
		Calcic Haploxeralfs	10										
		Petrocalcic Palexeralfs	46										
		Typic Calcixerepts	3059										
	رقومی Digital	Typic Epiaquepts	699	4159	6	0.75	1.7	0.44					
		Typic Haploxeralfs	10										
		Typic Haploxerepts	335										
		Typic Epiaquepts	2						2	1	0	0	-
		Petrocalcic Palexeralfs	39										
4	رقومی Digital	Typic Calcixerepts	722	1455	5	1.08	1.6	0.67					
		Typic Epiaquepts	381										
		Typic Haploxeralfs	5										
		Typic Haploxerepts	308										
		Typic Haploxerepts	2						2	1	0	0	-
Calcic Haploxeralfs	1												
5	رقومی Digital	Petrocalcic Palexeralfs	44	1172	6	0.56	1.7	0.32					
		Typic Calcixerepts	960										
		Typic Epiaquepts	44										
		Typic Haploxeralfs	1										
		Typic Haploxerepts	122										

n_i : تعداد اجزای متعلق به اامین کلاس، S: غنای کلاس، H' : شاخص تفرق شانن، H'_{max} : تفرق حداکثر، E: شاخص همواری evenness. H'_{max} : Shannon's entropy، H' : Richness، S: abundance of class i : n_i

جدول ۶- مقایسه‌ی آماری شاخص تفرق برای واحدهای نقشه‌ی خاک در سطح زیرگروه

Table 6- Mean comparison of Shannon's diversity index for soil map units at subgroup level

شماره واحد Number of map unit	تفرق شانن Shannon's diversity		واریانس تفرق شانن Shannon's diversity Variance		درجه آزادی df	آماره‌ی t
	سنتی Conventional	رقومی Digital	سنتی Conventional	رقومی Digital		
	1	0.76	0.61	0.032		
2	0.44	0.75	0.05	0.0002	16	1.4
4	0	1.08	0	0.0002	1481	77.1***
5	0	0.56	0	0.0008	1182	20***

*** Significant at 0.001 probability level. /۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد.

اراضی با فنون و روش‌های نوین باشیم.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار بین میزان تفرق به‌دست آمده بر اساس روش‌های مختلف نقشه‌برداری می‌توان بیان نمود که نقشه‌ی سنتی قادر به بیان تغییرات خاک درون واحدهای نقشه نمی‌باشد و بنابراین لازم است که توانمندی این نقشه‌ها به‌عنوان نقشه‌ی پایه برای مطالعات مدیریتی، مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه آگاهی از تغییرات مکانی خاک‌ها در مدیریت صحیح منابع اثرات مهمی دارد؛ روش‌های نوین می‌توانند درک ما از توزیع خاک‌ها و تشکیل و تکامل آن‌ها را بهبود بخشند. به نظر می‌رسد که سطح رده‌بندی مورد نظر و میزان تنوع خاک‌ها از عواملی هستند که می‌توانند بر نتایج تأثیرگذار باشند. همچنین، توصیه می‌شود که تأثیر روش‌های مختلف نقشه‌برداری در بیان تغییرات خاک‌ها در مناطق دیگر کشور و در صورت امکان در سطوح پایین‌تر رده‌بندی خاک مورد بررسی قرار گیرند تا با اطمینان بیشتری بتوان در رابطه با برتری نسبی هر یک از این روش‌ها صحبت نمود.

نحوه‌ی ارائه‌ی اطلاعات نقشه به‌نوعی کیفیت نقشه را نمایان می‌کند (۲۲، ۳ و ۵). بنابراین، می‌توان بیان نمود که نقشه‌های رقومی از این نظر نسبت به نقشه‌های سنتی برتری دارند و شاخص‌های پراکنش و خوبی توانسته‌اند توانایی روش رقومی در بیان توصیف پراکنش و تغییرات خاک را نشان دهند. با این وجود، باید به این نکته توجه داشت که اگرچه روش‌های نقشه‌برداری رقومی خاک توانایی بالایی برای بیان وضعیت پراکنش خاک‌ها آن هم با تفکیک مکانی بالا و با یک صحت قابل قبول دارند؛ ولی کاربرد این اطلاعات و اینکه تا چه اندازه این اطلاعات دقیق می‌توانند در اهداف مدیریتی، بازخورد مناسبی داشته‌باشند و در استفاده از این اطلاعات چه باید‌ها و نیاید‌هایی را باید در نظر گرفت بحث مهمی است و کاربردی کردن این نتایج هنوز به‌عنوان یک مشکل برای روش‌های نوین محسوب می‌شود (۱۲). بنابراین، با توجه به اینکه هر یک از این روش‌ها دیدگاه خاصی در بیان پراکنش خاک‌ها دارند به نظر می‌رسد که شاید تلفیقی از این دو روش با توجه به هدف مورد نظر، بهترین انتخاب باشد. با این وجود مدیریت صحیح اراضی همگام با کسب اطلاعات دقیق از خاک، هنوز نیازمند بهبود و توسعه‌ی دستگاه‌ها و ابزارهای مدیریتی است و انتظار می‌رود در آینده‌ی نزدیک، شاهد تغییر نحوه‌ی مدیریت

منابع

- Behrens T., Forster H., Scholten T., Steinrucken U., Spies E.D., and Goldschmitt M. 2005. Digital soil mapping using artificial neural networks. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168: 21–33.
- Bouma J., De Loat P.J.M., Van Holst A.F., and Van De Nes T.J. 1980. Predicting the effect of changing water table levels and associated soil moisture regimes for soil survey interpretations. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 797 – 802.
- Bregt A.K., Stoorvogel J.J., Bouma J., and Stein A. 1992. Mapping ordinal data in soil survey: a Costa Rican example. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 525 – 531.
- Cambule A.H., Rossiter D.G., and Stoorvogel J.J. 2013. A methodology for digital soil mapping in poorly-accessible areas. *Geoderma*, 192: 341–353.
- Dent D., Young A. 1981. *Soil survey and land evaluation* George Allen and Unwin. Boston.
- Esfandiarpour Borujeni I., Toomanian N., Salehi M.H., and Mohammadi J. 2009. Assessing geopedological soil mapping using diversity and similarity indices (A case study: Borujen area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari province). *Journal of Water and Soil*, 23: 100-114 (in Persian with English abstract).
- Esfandiarpour Borujeni I. Safari Y. 2014. Comparison of functional pedodiversity in two detailed soil map units (a case study: Faradonbeh plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 18: 267- 277 (in Persian with English abstract).
- Jafari A., Finke P.A., Van deWauw J., Ayoubi S., and Khademi H. 2012. Spatial prediction of USDA-great soil groups in the arid Zarand region, Iran: comparing logistic regression approaches to predict diagnostic horizons and soil types. *European Journal of Soil Science*, 63: 284–298.
- Ibanez J.J., De Alba S., Bermudes F.F., and Garcia-Alvarez A. 1995. Pedodiversity: concepts and measurements. *Catena*, 24:215-232.
- McBratney A.B., Mendonc M.L., and Minasny B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117 (1-2): 3– 52.
- McBratney A.B., and Minasny B. 2007. On measuring pedodiversity. *Geoderma*, 141: 149-154.
- Minasny B., and McBratney A.B. 2015. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma. In Press*.
- Moore I.D., Gessler P.E., Nielsen G.A. and Peterson G.A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society America Journal*, 57: 443–452.

14. Robertus R.A. 1998. Loessial of Delaware: taxonomy and map-unit assessment. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 412 – 422.
15. Rossiter D.G. 2000. Methodology for Soil Resource Inventories. Soil Science Division, International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC). 2nd Revised Version.
16. Salehi M.H., Eghbal M.K., and Khademi H. 2003. Comparison of soil variability in a detailed and a reconnaissance soil map in Central Iran. *Geoderma*, 111: 45-56.
17. Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils. 3rd Version. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center. Lincoln, NE.
18. Soil Survey Staff. 2014. Soil Taxonomy: A basic systems of soil classification for making and interpreting soil surveys. Twelfth Edition. NRCS. USDA.
19. Taylor L.R. 1978. A variety of diversities. p. 1-18. In I.A. Mound et al. (ed.) Diversity of Insect Faunas. Ninth Symposium of the Royal Entomological Society. Blackwell, Oxford.
20. Toomanian N., Jalalian A., Khademi H., Eghbal M.K., and Papritz A. 2006. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology*, 81: 376–393.
21. Van Ranst E. Tang H. Groenemam R. and Sinthurahat S. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. *Geoderma*, 70: 1-19.
22. Western, S., 1978. Soil Survey Contracts and Quality Control. Clarendon Press, Oxford, England.
23. Ziadat F.M. 2007. Land suitability classification using different sources of information: soil maps and predicted soil attributes in Jordan. *Geoderma*, 140: 73–80.

Comparing the Ability of Conventional and Digital Soil Maps to Explain Soil Variability using Diversity Indices

Z. Mosleh^{1*} - M.H. Salehi² - A. Jafari³ - I. Esfandiarpour Borujeni⁴

Received: 07-11-2015

Accepted: 25-04-2016

Introduction: Effective and sustainable soil management requires knowledge about the spatial patterns of soil variation and soil surveys are important and useful sources of data that can be used. Prior knowledge about the spatial distribution of the soils is the first essential step for this aim but this requires the collection of large amounts of soil information. However, the conventional soil surveys are usually not useful for providing quantitative information about the spatial distribution of soil properties that are used in many environmental studies. Recently, by the rapid development of the computers and technology together with the availability of new types of remote sensing data and digital elevation models (DEMs), digital and quantitative approaches have been developed. These new techniques relies on finding the relationships between soil properties or classes and the auxiliary information that explain the soil forming factors or processes and finally predict soil patterns on the landscape. Different types of the machine learning approaches have been applied for digital soil mapping of soil classes, such as the logistic and multinomial logistic regressions, neural networks and classification trees. In reality, soils are physical outcomes of the interactions happening among the geology, climate, hydrology and geomorphic processes. Diversity is a way of measuring soil variation. Ibanez (9) first introduced ecological diversity indices as measures of diversity. Application of the diversity indices in soil science have considerably increased in recent years. Taxonomic diversity has been evaluated in the most previous researches whereas comparing the ability of different soil mapping approaches based on these indices was rarely considered. Therefore, the main objective of this study was to compare the ability of the conventional and digital soil maps to explain the soil variability using diversity indices in the Shahrekord plain of Chaharmahal-Va- Bakhtiari province.

Materials and Methods: The soils in the study area have been formed on Quaternary shale and foliated clayey limestone deposits. Irrigated crops such as wheat, barley and alfalfa are the main land uses in the area. According to the semi-detailed soil survey, 120 pedons with approximate distance of 750 m were excavated and described according to the "field book for describing and sampling soils". Soil samples were taken from different genetic horizons and soil physicochemical properties were determined. Based on the pedons description and soil analytical data, pedons were classified according to the Soil Taxonomy (ST) up to subgroup level. Using aerial photo interpretation, geology map, google earth image and field observations primary soil map was created. With considering the taxonomic level, the representative pedons were determined and soil map was prepared. Multinomial logistic regression was used to predict soil classes at great group and subgroup levels. The map units that have the highest frequency were selected as indicator to calculate diversity indices in the conventional soil map at each taxonomic level. The selected map units were overlay to digital soil map and further diversity indices were calculated. Diversity indices including the Shannon's diversity, evenness and richness index. In order to know whether the means of Shannon's diversity for two approaches are significantly different, means comparison was done.

Results and Discussion: The results confirmed that the Shannon's diversity index was higher in the digital soil map than the conventional soil map for most soil map units. At great group and subgroup levels, a significant difference was observed for the Shannon's diversity index at 0.05 and 0.001 probability levels, respectively. Comparing the conventional and the digital soil maps showed the numbers of soil map units with significant difference regarding the Shannon's diversity index decreased from great group to the subgroup level. Although the conventional soil map did not show a good efficiency to explain the soil variability in this region considering more soil information to select the representative pedons at subgroup level in the conventional soil mapping could increase the ability of this approach.

Conclusion: A significant difference for the Shannon's diversity index between the conventional and the digital soil maps demonstrated that conventional soil mapping has not enough ability to explain the soil

1, 2- Ph.D. Student and Professor of Soil Science Department, University of Shahrekord

(*-Corresponding Author Email: mosleh.zohreh@yahoo.com)

3- Assistant Professor of Soil Science Department, Shahid Bahonar University of Kerman

4- Associate Professor of Soil Science Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan.

variability. It is recommended to test the effect of soil mapping approaches on explanation of the soil variability in other areas. Despite the deficiencies of traditional soil survey, it is still difficult to state about their replacement by digital methods.

Keywords: Diversity indices, Multinomial logistic regression, Soil mapping approaches