

مقایسه نگرش روش‌های نقشه‌برداری سنتی و رقومی خاک با استفاده از رویکرد تفرق کارکردی (مطالعه موردی: دشت شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری)

* زهره مصلح^۱، محمدحسن صالحی^۲، اعظم جعفری^۳، عبدالمحمد محنت‌کش^۴،

عیسی اسفندیارپور بروجنی^۵ و عباس امینی فسخودی^۶

^۱دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد، ^۲دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان،

^۳دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۷

چکیده

سابقه و هدف: اطلاعات کافی از تغییرپذیری مکانی کلاس‌های تناسب اراضی می‌تواند گامی جدید در راستای بهره‌وری بهینه از اراضی باشد. در این راستا، تفرق خاک معیاری برای کمی‌کردن این تغییرات است. از سوی دیگر، اطلاعات نقشه خاک به‌طور عمده به‌عنوان نقشه پایه برای تهیه نقشه‌های ارزیابی تناسب اراضی استفاده می‌شوند. با این وجود، تاکنون مطالعات اندکی به بررسی تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی با استفاده از شاخص‌های تفرق و روش‌های مختلف نقشه‌برداری پرداخته‌اند. پژوهش حاضر می‌کوشد تا با بررسی تفرق کارکردی در سطوح کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی برای محصولات گندم، یونجه، ذرت و سیب‌زمینی در یک واحد اراضی مشخص، نقش روش‌های نقشه‌برداری سنتی و رقومی خاک را در بیان تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی بررسی نماید.

مواد و روش‌ها: در مساحتی بالغ بر ۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر، تشریح و نمونه‌برداری شدند و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین گردیدند. نقشه خاک در سطح فامیل رده‌بندی آمریکایی تهیه شد و میانگین وزنی ویژگی‌های خاک تا عمق ریشه (برای گیاهان یکساله و چندساله، به ترتیب عمق ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری) برای خاک‌رخ‌های شاهد آن محاسبه گردید. بر مبنای روش فائو، کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی برای محصولات موردنظر با استفاده از روش پارامتریک (معادله ریشه دوم) به‌دست آمدند. برای تمامی محصولات، با استفاده از اطلاعات تمامی خاک‌رخ‌ها، نقشه‌های رقومی تناسب اراضی در دو سطح مذکور با مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی تهیه شدند. سپس، به‌منظور بررسی تفرق کارکردی برای هر محصول، واحدی که در نقشه تناسب اراضی دارای مساحت بیشتری بود انتخاب و همان واحد بر روی نقشه رقومی قرار داده شد. شاخص تفرق شانن در نقشه‌های سنتی، بر اساس اطلاعات تمامی خاک‌رخ‌ها و برای نقشه‌های رقومی بر اساس اطلاعات تمامی پیکسل‌های موجود در واحد، در دو سطح کلاس و زیرکلاس تعیین گردید و اختلاف میانگین آن‌ها بین دو نقشه از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت.

* مسئول مکاتبه: mosleh.zohreh@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج نشان داد که برای تمامی محصولات مورد مطالعه در سطح کلاس تناسب اراضی، اختلاف معنی‌داری بین شاخص تفرق حاصل از دو روش نقشه‌برداری وجود ندارد و در سطح زیرکلاس، تنها برای محصول سیب‌زمینی، این اختلاف در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. همچنین، برای تمامی محصولات موردنظر و با استفاده از دو روش نقشه‌برداری، مقدار تفرق شانن از سطح کلاس تناسب به زیرکلاس تناسب اراضی، افزایش یافت. این اختلاف، برای محصولات یونجه، ذرت و سیب‌زمینی در هر دو روش نقشه‌برداری و برای محصول گندم در روش رقومی، در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش بیانگر آن است که بیان تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی بیش از آن‌که متأثر از روش نقشه‌برداری و نوع محصول باشد، به معیارهای فائو و دامنه قراردادی تغییرات ویژگی‌هایی که برای تعیین کلاس تناسب اراضی استفاده می‌شوند؛ وابسته است. بنابراین، به نظر می‌رسد که تصحیح جدول‌های نیازهای رویشی محصولات زراعی به‌صورتی که بتواند تغییرات تدریجی خاک و تأثیر آن‌ها بر روی محصولات زراعی را نمایان سازد، می‌تواند نقش مهمی در مدیریت بهینه و صحیح منابع ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی تناسب اراضی، شاخص شانن، شاخص غنی‌شدگی، مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی

مقدمه

نباشند. علاوه بر آن، نقشه‌برداری سنتی خاک، نمی‌تواند اطلاعات کمی دقیقی در مورد توزیع ویژگی‌های خاکی که به‌طور عمده در مطالعات محیطی به‌کار می‌روند را فراهم نماید (۱۸).

مشکلات موجود در نقشه‌های سنتی خاک، نیاز شدید به اطلاعات دقیق از خاک با تفکیک مکانی بالا، رشد سریع فناوری اطلاعات همگام با اطلاعات حاصل از سنجش از دور و مدل‌های رقومی ارتفاع، موجب بروز و استفاده از روش‌های نوین نقشه‌برداری خاک شده است. نقشه‌برداری رقومی خاک، بیانگر مجموعه‌ای از محاسبات رایانه‌ای برای پیش‌بینی پراکنش خاک‌ها است که با استفاده از مدل‌های مختلف و پارامترهای محیطی، کلاس‌ها یا ویژگی‌های آن را پیش‌بینی می‌نماید (۴).

تغییرات مکانی خاک‌ها می‌تواند متأثر از ویژگی‌های ذاتی (عوامل و فرآیندهای خاکساز) و غیرذاتی (مدیریت خاک) باشند. بنابراین، خاک‌ها محصول فرآیندهای بی‌شماری هستند که به‌صورت تدریجی و

افزایش جمعیت، استفاده بی‌رویه از اراضی و همچنین نیاز شدید به افزایش عملکرد در واحد سطح، بهره‌برداری صحیح و بهینه از اراضی را ضروری می‌نماید. یکی از راه‌های رسیدن به این مقصود، ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات مهم و استراتژیک است. برنامه‌ریزی استفاده از اراضی، بهره‌برداری از زمین را به جهتی سوق می‌دهد که ضمن تأمین درآمد بیشتر، این منابع برای استفاده آیندگان نیز حفاظت شوند (۱۴). نقشه‌های خاک و اطلاعات آن‌ها از جمله مهم‌ترین منابع اطلاعاتی هستند که به‌طور عمده برای بهبود مطالعات تناسب اراضی و آمایش سرزمین به‌کار برده می‌شوند و پاسخگویی به نیازها و کاربری‌های مختلف، مستلزم دسترسی به مجموعه اطلاعات و داده‌های متنوعی از خاک است (۱۷ و ۱۸). به‌طورکلی، تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک از یک نقطه به نقطه دیگر باعث گردیده است که تخمین‌های نقطه‌ای با استفاده از نقشه‌های سنتی خاک از دقت مناسبی برخوردار

جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۵۱ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین بارندگی و دمای سالانه منطقه در یک دوره آماری ۶۰ ساله (سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۳)، به ترتیب، ۳۱۷ میلی‌متر و ۲۳ درجه سلسیوس می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه مطالعاتی، به ترتیب، زیریک و مزیک می‌باشند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی خاک‌های این منطقه به‌طور عمده بر روی رسوبات رسی و سیلتی مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی (دوره کواترنری) تشکیل شده‌اند. کاربری عمده اراضی موجود در این منطقه، کشت آبی گندم، یونجه، سیب‌زمینی و ذرت می‌باشد؛ به‌طوری‌که بر اساس اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان، در سال زراعی ۹۲-۹۳، از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی، این چهار محصول، ۷۳ درصد از اراضی قابل کشت منطقه مطالعاتی را شامل می‌شوند.

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی: با توجه به نقشه خاک موجود برای منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (۸) و بر اساس مطالعات خاکشناسی نیمه‌تفصیلی (۹)، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر گردید. تمامی خاک‌رخ‌های حفرشده، بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (۱۲) تشریح گردیدند و از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها شامل پ‌هاس، هدایت الکتریکی، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل و بافت خاک بر اساس روش‌های استاندارد (۱۳) اندازه‌گیری شدند.

مطالعات تناسب کیفی اراضی: برای ارزیابی تناسب اقلیمی منطقه، با توجه به فصل رشد و کشت آبی محصولات و پذیرفتن این فرض که نیاز آبی این

پیوسته در مکان و زمان تغییر می‌کنند. تفرق خاک، معیاری برای کمی‌کردن تغییرپذیری خاک می‌باشد و از دیدگاه‌های مختلف از جمله تفرق رده‌بندی خاک^۱، تفرق کارکردی خاک^۲ و تفرق ویژگی‌های خاک^۳ قابل بررسی است (۱۰ و ۱۶).

در دهه‌های اخیر کاربرد شاخص‌های تفرق در علوم خاک پیشرفت چشمگیری داشته است (۵، ۲، ۱، ۷ و ۱۶). اگرچه آگاهی از تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی، برای مدیریت صحیح اراضی بسیار مهم می‌باشد ولی تاکنون توجه زیادی به تفرق کارکردی خاک مبذول نگردیده است. همچنین، با توجه به این‌که هر یک از روش‌های نقشه‌برداری، نگرش خاصی در بیان تغییرات خاک دارند و نقاط ضعف و قوت هر یک از این روش‌ها، زمانی که نتایج آن‌ها به‌طور کاربردی مورد استفاده قرار گیرند، مشخص می‌شود. بررسی نقش این روش‌ها در بیان تغییرات کلاس‌های تناسب اراضی می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها و ایجاد دیدگاه دقیق‌تر بسیار مفید باشد. پژوهش حاضر می‌کوشد تا با بررسی تفرق کارکردی در سطوح کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی برای محصولات گندم، یونجه، ذرت و سیب‌زمینی در یک واحد اراضی مشخص، نقش روش‌های نقشه‌برداری سنتی و رقومی خاک را در بیان تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری بررسی نماید.

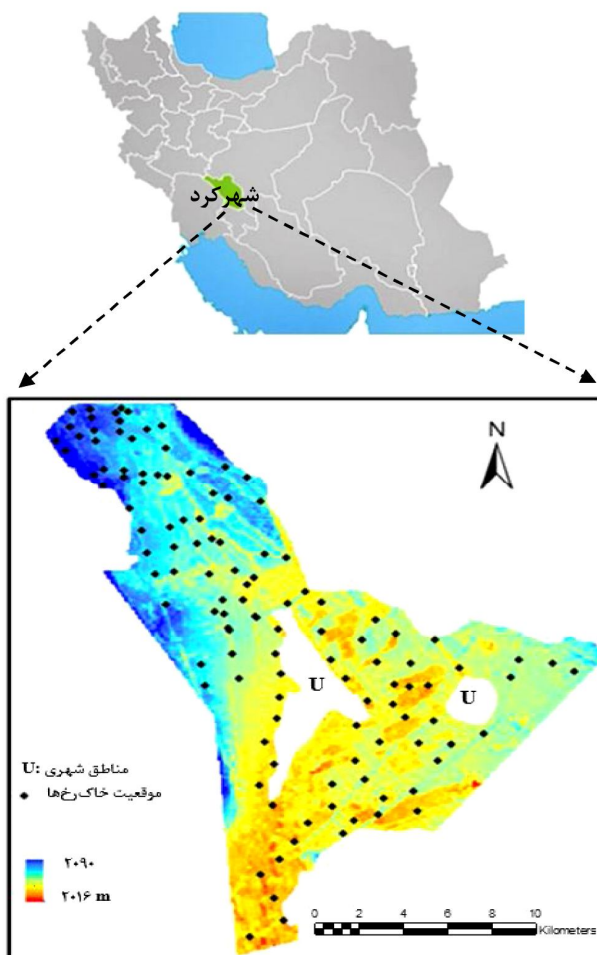
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: پژوهش حاضر در منطقه‌ای به مساحت تقریبی ۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی دشت شهرکرد انجام شد. این منطقه با ارتفاع متوسط ۲۰۵۰ متر از سطح دریا و در حد فاصل طول‌های

- 1- Taxonomic pedodiversity
- 2- Functional pedodiversity
- 3- Diversity of soil properties

محصولات موردنظر، محدودیت‌های اراضی هر واحد مشخص گردید و کلاس تناسب اراضی با استفاده از روش پارامتریک (ریشه دوم) به دست آمد (۳). بنابراین، از درجات تناسب به دست آمده برای پارامترهای اقلیمی، شاخص اقلیم و سپس درجه تناسب اقلیم محاسبه گردید. در نهایت، با لحاظ کردن محدودیت‌های اراضی و اقلیمی، شاخص زمین محاسبه و سپس با استفاده از جداول ارایه شده توسط گیوی (۳)، کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی برای محصولات مختلف تعیین گردید.

گیاهان از طریق آبیاری تأمین می‌گردد، از میزان بارندگی صرف نظر شد. سایر پارامترهای اقلیمی با توجه به آمار ۶۰ ساله هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرکرد برای دوره رشد محصولات مختلف تعیین و با جدول‌های نیازهای اقلیمی (۳) مطابقت داده شدند. برای تمامی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه، میانگین‌گیری وزنی ویژگی‌های مورد نیاز تا عمق ریشه (برای گیاهان یکساله و چندساله، به ترتیب عمق ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری) انجام شد. در نهایت با تطبیق ویژگی‌های اراضی با معیارهای موجود در جدول نیازهای رویشی

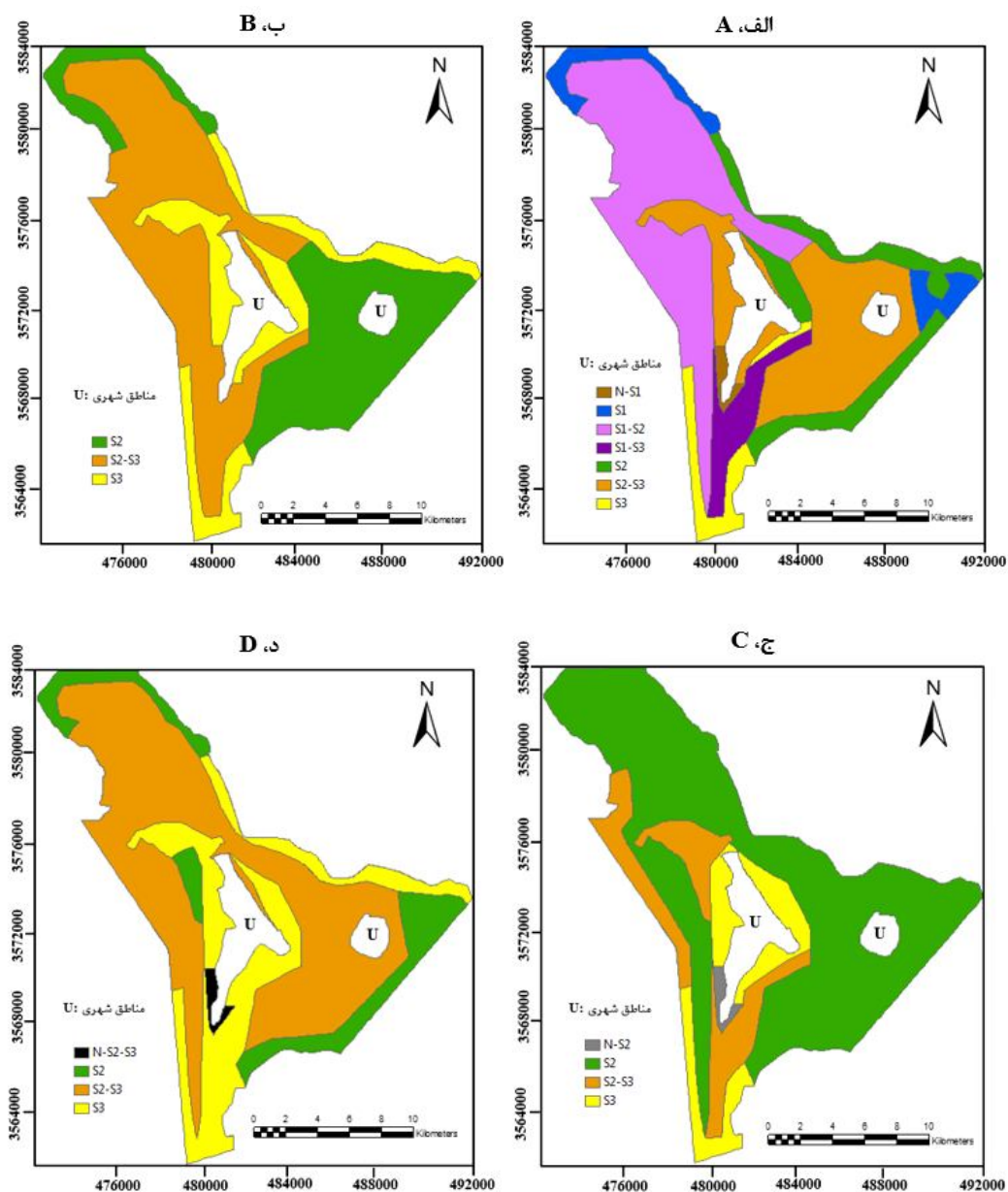


شکل ۱- منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت خاک‌رخ‌ها.

Figure 1. Location of the study area with pedons position.

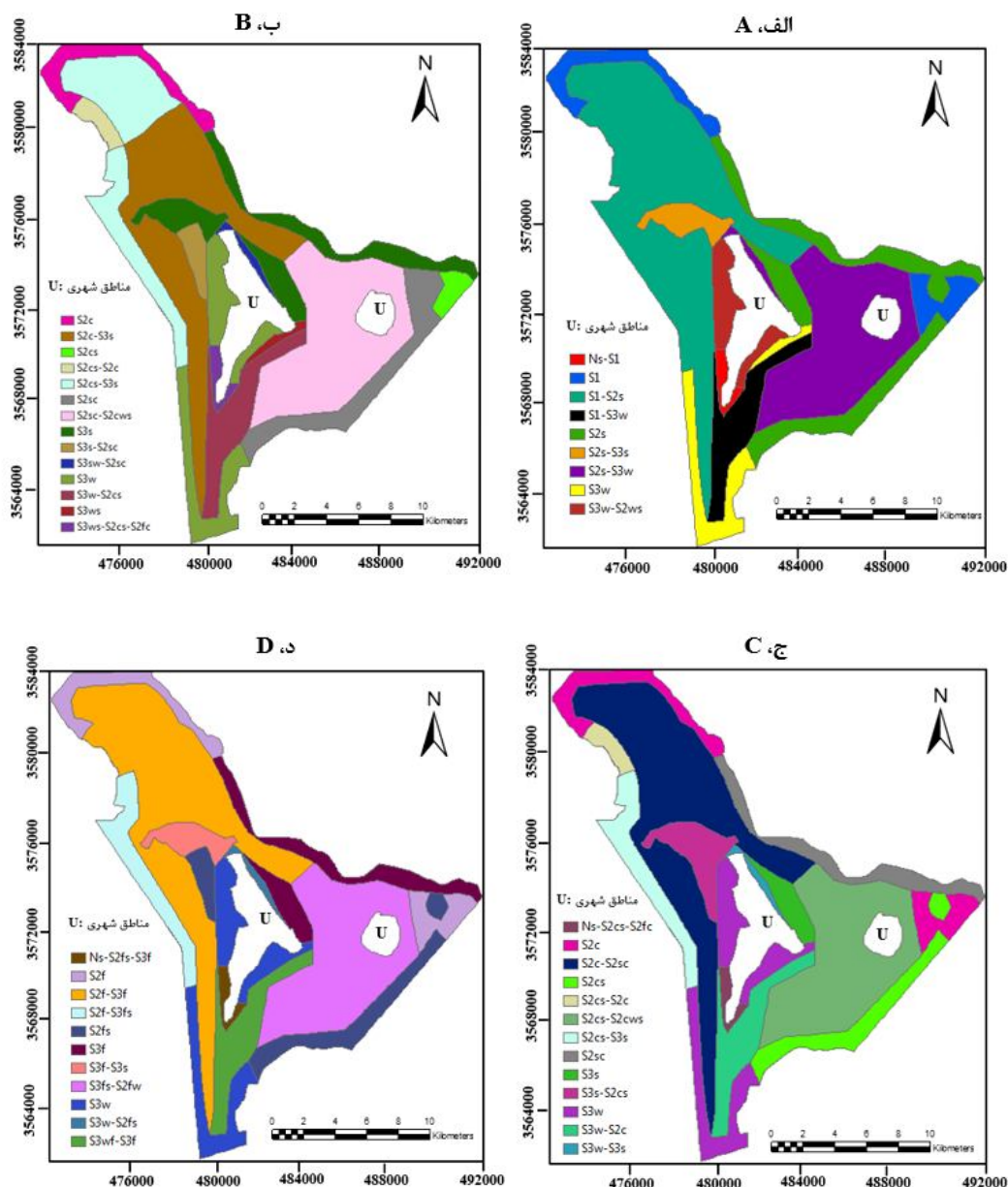
انتخاب و بر مبنای کلاس و زیرکلاس تناسب آن‌ها، نقشه‌های تناسب کیفی اراضی تهیه گردید. نقشه‌های تهیه‌شده با استفاده از این روش برای محصولات مختلف در سطوح کلاس و زیرکلاس، به‌ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده‌اند.

تهیه نقشه‌های سنتی تناسب کیفی اراضی: پس از رده‌بندی خاک‌ها بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی تا سطح فامیل، نقشه خاک منطقه تهیه گردید. این نقشه، مبنای تهیه نقشه‌های سنتی تناسب کیفی اراضی قرار گرفت. سپس، خاک‌رخ (های) شاهد هر واحد



شکل ۲- نقشه‌های سنتی تناسب کیفی اراضی در سطح کلاس برای گندم (الف)، ذرت (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د).

Figure 2. Conventional qualitative land suitability maps at class level for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D).



شکل ۳- نقشه‌های سستی تناسب کیفی اراضی در سطح زیرکلاس برای گندم (الف)، ذرت (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د).

Figure 3. Conventional qualitative land suitability maps at subclass level for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D).

ثانویه 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 با استفاده از نرم‌افزار SAGA تعیین گردیدند. شاخص‌های سنجش از دور (شامل شاخص گیاهی تفاضلی

تهیه نقشه‌های رقومی تناسب کیفی اراضی: در این پژوهش، برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی محصولات موردنظر، مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی^۱ استفاده گردید. بر اساس مدل رقومی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر که از وب‌سایت مدل رقومی ارتفاع جهانی استر تهیه گردید، ویژگی‌های اولیه و

1- Random Forest model

برای تعیین میزان تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی در واحدهای نقشه از شاخص‌های غنی‌شدگی^۱ (S)، همواری^۲ (E) و شانن^۳ (H') استفاده گردید که با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند:

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

که در آن، p_i نسبت اجزای موجود در واحد i ام است. از آنجایی که مقدار واقعی p_i نامعلوم می‌باشد به جای آن از $\frac{n_i}{N}$ استفاده می‌شود. n_i بیانگر تعداد اجزای متعلق به واحد i ام و N تعداد کل اجزای مورد مطالعه است.

$$E = \frac{H'}{\ln S} \quad (2)$$

که در آن، S غنای گونه‌ها یعنی تعداد کلاس‌های تناسب اراضی در هر واحد نقشه می‌باشد. اگر شاخص تفرق شانن برای جوامع مختلف محاسبه شود، شاخص‌های محاسبه‌شده از توزیع نرمال تبعیت خواهند نمود (۱۵). بنابراین، برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین تفرق کارکردی در نقشه‌های سنتی و رقومی، از رابطه‌های ۳ تا ۵ استفاده گردید:

$$t = (H'_1 - H'_2) / (\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^{1/2} \quad (3)$$

که در آن، H'_i و $\text{Var } H'_i$ به ترتیب، شاخص تفرق محاسبه‌شده و واریانس تفرق محاسبه‌شده برای واحد i ام در نقشه‌های سنتی و رقومی هستند. مقدار واریانس تفرق از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

نرمال‌شده، شاخص گیاهی عمودی، شاخص رس و شاخص کربنات) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (سال ۲۰۱۴) با تفکیک مکانی ۳۰ متر به دست آمدند. نقشه ژئومورفولوژی تا سطح لندفرم بر مبنای روش زینک (۱۹) تهیه شد و برای این منظور از اطلاعات مختلفی استفاده گردید. به طوری که جداسازی واحدها در سطح سیمای اراضی و پستی و بلندی، لیتولوژی و لندفرم، به ترتیب، با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ انجام شد. سپس، برای هر محصول در مراحل جداگانه، کلاس و زیرکلاس به همراه پارامترهای محیطی (ویژگی‌های اولیه و ثانویه مدل رقومی ارتفاع، شاخص‌های سنجش از دور، نقشه زمین‌شناسی، نقشه خاک و نقشه ژئومورفولوژی) برای مدل تعریف شدند. مدل‌سازی با استفاده از بسته نرم‌افزاری *caret* و در نرم‌افزار *R* انجام شد (۶). مدل مورد استفاده با داده‌های آموزشی (۸۰ درصد داده‌ها) برازش داده شد و سپس صحت مدل بر اساس داده‌های اعتبارسنجی (۲۰ درصد داده‌ها) تعیین گردید. نقشه‌های پیش‌بینی‌شده با استفاده از این روش، برای محصولات مختلف در سطوح کلاس و زیرکلاس، به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند.

محاسبه تفرق کارکردی: در این پژوهش، برای بررسی تفرق کارکردی برای هر یک از محصولات واحدی که در نقشه‌های سنتی تناسب اراضی دارای مساحت بیشتری بود انتخاب و سپس تفرق کارکردی آن واحد محاسبه شد. سپس، همان واحد بر روی نقشه‌های رقومی قرار داده شد و بار دیگر تفرق آن تعیین گردید. در این مطالعه، واحد نقشه تناسب اراضی به عنوان یک جامعه در نظر گرفته شد. خاک‌رخ‌های حفرشده و پیکسل‌های موجود، به ترتیب، به عنوان افراد جامعه در نقشه‌های سنتی و رقومی تناسب اراضی تلقی شدند.

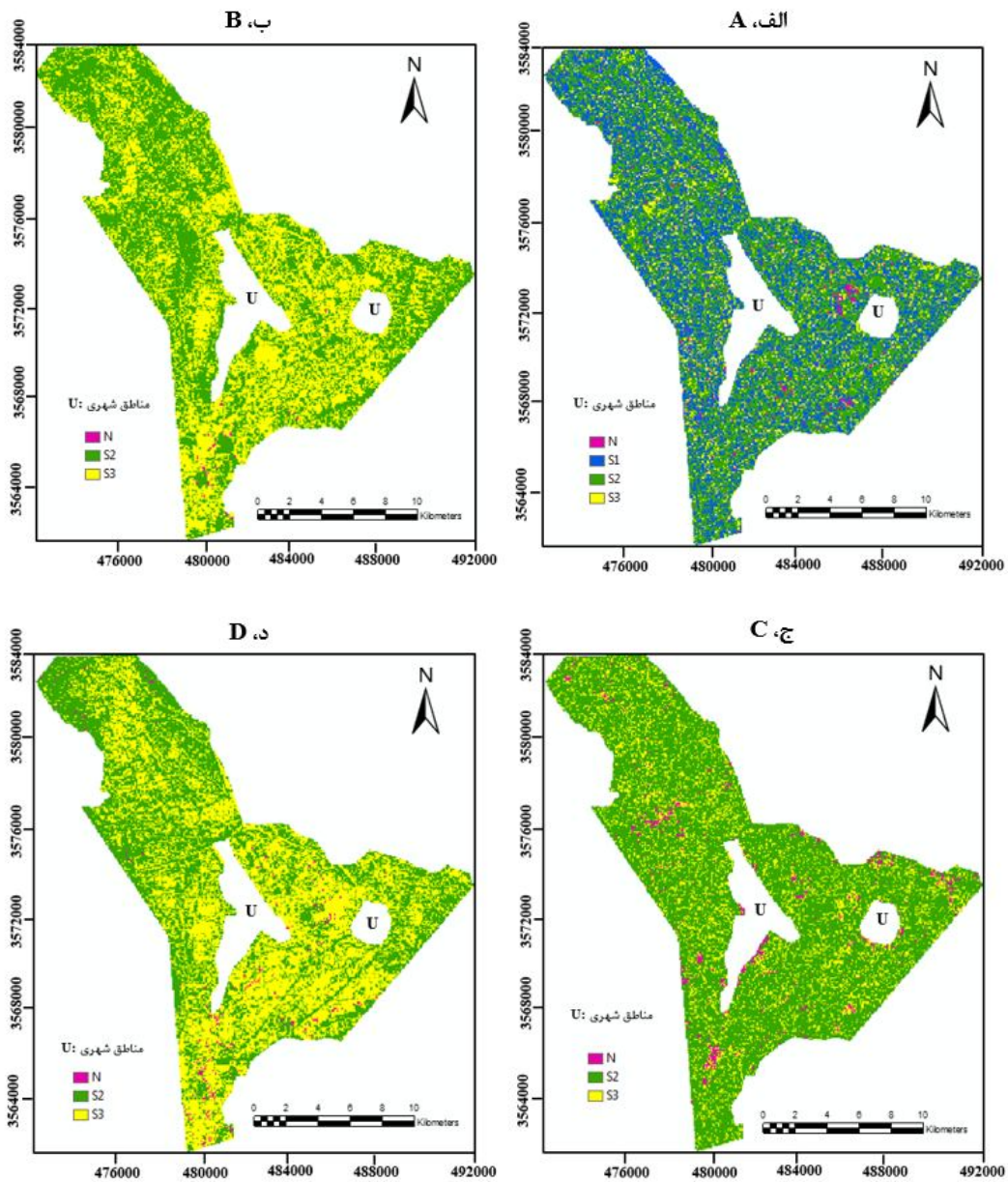
1- Richness
2- Evenness
3- Shannon index

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

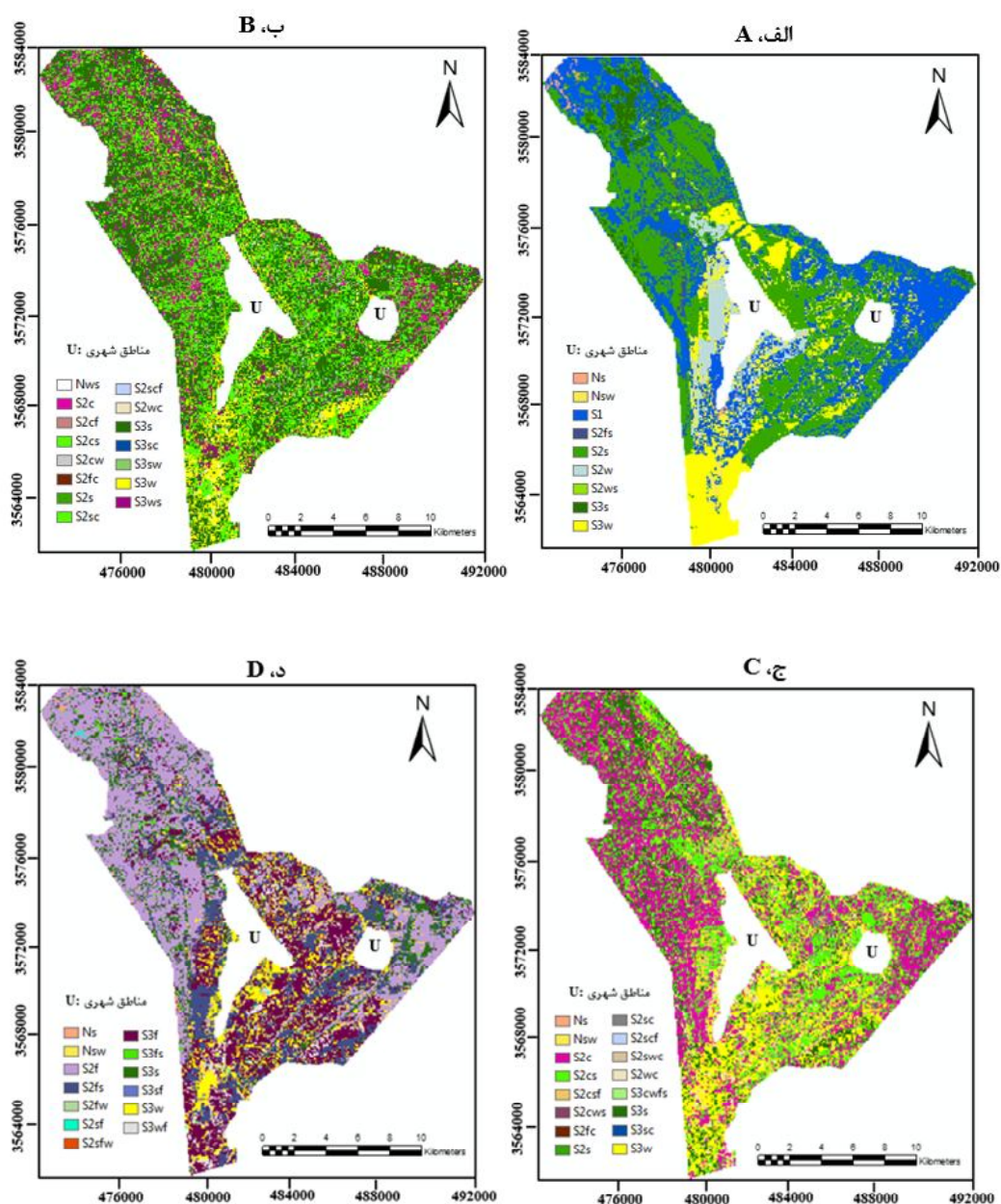
در صورتی که مقدار t محاسبه شده، بزرگتر از t جدول باشد؛ فرض صفر مبنی بر یکسان بودن میانگین تفرق هر واحد در نقشه‌های ستی و رقمی، رد می‌شود.

همچنین، درجه آزادی لازم برای قرائت t جدول، با استفاده از رابطه ۵ به دست می‌آید:

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



شکل ۴- نقشه‌های رقمی تناسب کیفی اراضی در سطح کلاس برای گندم (الف)، ذرت (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د).
Figure 4. Digital qualitative land suitability maps at class level for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D).



شکل ۵- نقشه‌های رقومی تناسب کیفی اراضی در سطح زیرکلاس برای گندم (الف)، ذرت (ب)، یونجه (ج) و سیب‌زمینی (د).
 Figure 5. Digital qualitative land suitability maps at subclass level for wheat (A), maize (B), alfalfa (C) and potato (D).

تغییرپذیری کلاس‌های تناسب گندم را بهتر نشان می‌دهد. همچنین، هر دو روش نقشه‌برداری، توانایی یکسانی برای بیان تغییرپذیری کلاس‌های تناسب کیفی یونجه نشان داده‌اند. با این وجود، نتایج مقایسه آماری شاخص تفرق برای نقشه‌های تهیه‌شده نشان می‌دهند که برای هیچ کدام از محصولات موردنظر، اختلاف معنی‌دار بین مقادیر تفرق دو روش وجود

نتایج و بحث

مقادیر تفرق کارکردی برای محصولات مورد مطالعه در سطح کلاس تناسب اراضی بر مبنای نقشه‌های سنتی و رقومی در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه مقدار تفرق شانن برای محصولات ذرت و سیب‌زمینی در نقشه‌های سنتی بیش‌تر از روش رقومی است؛ ولی نقشه رقومی

این اختلاف در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). بنابراین، می‌توان بیان نمود که تغییرات کلاس و زیرکلاس‌های تناسب اراضی برای اکثر محصولات مورد مطالعه، بیش‌تر تابع معیارهای فائو برای تعیین تناسب اراضی می‌باشد و در این شرایط، سهم روش نقشه‌برداری در بیان این تغییرات بسیار اندک است. اسفندیارپور بروجنی و صفری (۲۰۱۴) بیان نمودند که تغییرات تفرق تناسب برای محصولات گندم و سیب‌زمینی در دشت فردانیه استان چهارمحال و بختیاری، بیش از آن‌که تابع نوع شاخص به‌کار رفته باشد به نوع و شدت محدودیت‌های اراضی در نقاط مختلف وابسته است (۲).

ندارد (جدول ۲). بنابراین، می‌توان بیان نمود که روش نقشه‌برداری تأثیر معنی‌داری بر توانایی توصیف و تفسیر تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی ندارد. مقادیر تفرق برای سطح زیرکلاس‌های تناسب اراضی با استفاده از دو روش نقشه‌برداری برای محصولات مختلف در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. در سطح زیرکلاس تناسب اراضی، توانایی روش سنتی برای بیان تغییرپذیری کلاس‌های تناسب ذرت، یونجه و سیب‌زمینی بالاتر است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که زیرکلاس‌های تناسب کیفی گندم در نقشه رقومی از تغییرپذیری بیش‌تری برخوردار هستند؛ اگرچه نتایج آماری بیانگر آن است که تنها برای سیب‌زمینی

جدول ۱- نتایج تفرق کارکردی در سطح کلاس برای محصولات مختلف بر مبنای دو روش نقشه‌برداری (سنتی و رقومی).

Table 1. Functional diversity indices at class level for different crops based on two methods (conventional and digital soil mapping).

E	H _{max} '	H'	S	N	Ni	کلاس‌های تناسب Suitability class	روش نقشه‌برداری Mapping method	نام واحد Unit's name	نوع محصول Crops
0.825	1.09	0.9	3	48	17	S ₁	سنتی Conventional mapping	S ₁ -S ₂	گندم wheat
					26	S ₂			
					5	S ₃			
0.695	1.38	0.96	4	16004	6549	S ₁	رقومی Digital soil mapping	S ₁ -S ₂	گندم wheat
					7447	S ₂			
					1794	S ₃			
0.66	1.09	0.73	3	54	214	N	سنتی Conventional mapping	S ₂ -S ₃	ذرت maize
					27	S ₂			
					26	S ₃			
0.61	1.09	0.67	3	18847	1	N	رقومی Digital soil mapping	S ₂ -S ₃	ذرت maize
					10708	S ₂			
					8088	S ₃			
0.53	1.09	0.58	3	87	51	N	سنتی Conventional mapping	S ₂	یونجه alfalfa
					66	S ₂			
					19	S ₃			
0.53	1.09	0.58	3	29274	2	N	رقومی Digital soil mapping	S ₂	یونجه alfalfa
					22643	S ₂			
					5977	S ₃			
0.75	1.09	0.81	3	73	654	N	سنتی Conventional mapping	S ₂ -S ₃	سیب‌زمینی potato
					36	S ₂			
					34	S ₃			
0.65	1.09	0.71	3	24501	3	N	رقومی Digital soil mapping	S ₂ -S ₃	سیب‌زمینی potato
					11533	S ₂			
					12820	S ₃			
					148	N			

π_i : تعداد اجزای متعلق به i امین کلاس، S: غنای کلاس، H': شاخص تفرق شانن، H_{max}': تفرق حداکثر، E: شاخص همواری.

π_i : abundance of class i, S: Richness, H': Shannon's entropy, H_{max}': maximum entropy, E: evenness.

رقومی، به ترتیب ۷۵ و ۷۷ درصد این واحد دارای کلاس S_2 می‌باشند. بنابراین، هر دو روش نقشه‌برداری توانسته‌اند سهم قابل توجهی از تغییرات درون واحد اراضی را به خوبی بیان نمایند. این موضوع در رابطه با محصولات سیب‌زمینی و ذرت نیز صدق می‌کند. فراوان‌ترین واحد اراضی برای این دو محصول، دارای کلاس تناسب S_2-S_3 است. نتایج نشان می‌دهند (جدول ۱) که برای محصول ذرت، هر دو روش نقشه‌برداری، ۹۸ درصد از اراضی مورد مطالعه را دارای کلاس تناسب S_2 و S_3 قلمداد می‌کنند. برای محصول سیب‌زمینی نیز نقشه سنتی و رقومی، به ترتیب ۹۵ و ۹۹ درصد از اراضی این واحد را S_2-S_3 در نظر می‌گیرند.

مقایسه نقشه‌های سنتی تناسب اراضی با نتایج تفرق کارکردی نیز بیانگر آن است که نقشه سنتی تهیه‌شده در سطح کلاس برای گندم، واحد مورد مطالعه را S_1-S_2 نامگذاری نموده است (جدول ۱). اگر تمامی خاک‌رخ‌های حفرشده در این واحد در نظر گرفته شوند ۸۹ درصد از اراضی این واحد دارای کلاس S_1-S_2 می‌باشند و در روش رقومی ۸۷ درصد از اراضی این واحد دارای تناسب خوب و متوسط برای کشت این محصول هستند. شکل (۲-ج) نشان می‌دهد که بر اساس نتایج خاک‌رخ شاهد، بخش اعظم منطقه مورد مطالعه، دارای تناسب متوسط برای کشت یونجه می‌باشند و این نتایج با مقادیر تفرق به دست آمده مطابقت دارد. به طوری که در روش سنتی و

جدول ۲- مقایسه آماری شاخص تفرق کارکردی در سطح کلاس برای محصولات مختلف بر مبنای دو روش نقشه‌برداری (سنتی و رقومی).

Table 2. Mean comparison of functional diversity index at class level for different crops based on two methods (conventional and digital soil mapping).

آماره t	درجه آزادی df	واریانس تفرق شانن		تفرق شانن		نوع محصول Crops
		Shannon's diversity variance		Shannon's diversity		
		رقومی Digital soil mapping	سنتی Conventional mapping	رقومی Digital soil mapping	سنتی Conventional mapping	
0.85	48	0.00002	0.005	0.96	0.9	گندم wheat
1.1	54	0.000004	0.003	0.67	0.73	ذرت maize
0	87	0.00001	0.005	0.58	0.58	یونجه alfalfa
1.8	73	0.000004	0.003	0.71	0.81	سیب‌زمینی potato

تغییرپذیری خاک ممکن است با مشکلاتی روبه‌رو شود و قابلیت اعتماد به نتایج آن کم شود؛ ولی متفاوت بودن معیارهای رده‌بندی با معیارهای فائو و این‌که در روش ارزیابی فائو، دامنه وسیعی برای هر

بنابراین، به نظر می‌رسد که به منظور کاهش هزینه‌ها و زمان انجام مطالعات، انتخاب خاک‌رخ شاهد می‌تواند از مزیت نسبی برخوردار باشد. اگرچه انتخاب خاک‌رخ شاهد به دلیل در نظر نگرفتن

اراضی خاک‌رخ شاهد به کل واحد نقشه می‌تواند تا حد زیادی گمراه‌کننده باشد. از این رو، توصیه نمودند که حداقل هنگامی که درجه تناسب اراضی در حوالی مرز کلاس‌ها قرار دارد در توصیف واحد و تفسیر نتایج دقت شود (۱۱).

ویژگی در نظر گرفته می‌شود سبب می‌شود که این عدم توانایی در رابطه با نقشه‌های تناسب کم‌تر قابل مشاهده باشد. صالحی و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی تغییرپذیری تناسب کیفی گندم در یک واحد نقشه تفصیلی خاک نشان دادند که تعمیم کلاس تناسب

جدول ۳- نتایج تفرق کارکردی در سطح زیرکلاس برای محصولات مختلف بر مبنای دو روش نقشه‌برداری (سستی و رقومی).

Table 3. Functional diversity indices at subclass level for different crops based on two methods (conventional and digital soil mapping).

E	H' _{max}	H'	S	N	روش نقشه‌برداری Mapping method	نام واحد Unit's name	نوع محصول Crops
0.662	1.6	1.06	5	48	سستی Conventional mapping	S ₁ -S _{2s}	گندم wheat
0.57	2.19	1.25	9	16081	رقومی Digital soil mapping		
0.76	1.94	1.48	7	24	سستی Conventional mapping	S _{2c} -S _{3s}	ذرت maize
0.54	2.7	1.47	15	9159	رقومی Digital soil mapping		
0.8	1.94	1.56	7	38	سستی Conventional mapping	S _{2c} -S _{2sc}	یونجه alfalfa
0.54	2.7	1.46	15	12393	رقومی Digital soil mapping		
0.77	2.1	1.7	9	46	سستی Conventional mapping	S _{2f} -S _{3f}	سیب‌زمینی potato
0.56	2.56	1.45	13	13053	رقومی Digital soil mapping		

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

بنابراین، تصحیح جدول‌های نیازهای رویشی گیاهان به‌طوری‌که بتواند از تغییرات خاک در فواصل اندک بهره‌گیرد، در کشور ضروری است. در این صورت می‌توان با تهیه نقشه‌های موضوعی^۱ حاصل از روش‌های رقومی، نقشه‌های دقیق‌تری برای توصیه کشت هر محصول تهیه نمود.

اگر چه روش‌های رقومی نقشه‌برداری خاک، آگاهی از تغییرات موجود در طبیعت را بیش‌تر نمایان می‌سازند؛ استفاده از نتایج آن‌ها در قالب معیارهای تناسب اراضی که در حال حاضر در کشور استفاده می‌شود سبب می‌گردد تا بخش عظیمی از این اطلاعات و آگاهی‌ها به ناچار و به‌دلیل ذات روش ارزیابی، هدر رود و قابل استفاده نباشد.

1- Thematic maps

جدول ۴- مقایسه آماری شاخص تفرق کارکردی در سطح زیرکلاس برای محصولات مختلف بر مبنای دو روش نقشه برداری (ستی و رقومی).

Table 4. Mean comparison of functional diversity index at subclass level for different crops based on two methods (conventional and digital soil mapping).

آماره t	درجه آزادی df	واریانس تفرق شانن		تفرق شانن		نوع محصول Crops
		Shannon's diversity variance		Shannon's diversity		
		رقومی Digital soil mapping	ستی Conventional mapping	رقومی Digital soil mapping	ستی Conventional mapping	
1.9	50	0.00004	0.01	1.25	1.06	گندم wheat
0.05	24	0.0001	0.029	1.47	1.48	ذرت maize
1	39	0.00008	0.01	1.46	1.56	یونجه alfalfa
2.2*	47	0.00008	0.013	1.45	1.7	سیب زمینی potato

* در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی دار می باشد.

* Significant at 0.05 probability level.

از سطح رده به سمت فامیل خاک افزایش می یابد و تنها در سطح فامیل خاک، تفاوت معنی داری بین میانگین تفرق خاک های منطقه نمونه و تعمیم وجود دارد (۱). تومانیان و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه دره زاینده رود در اصفهان نشان دادند که با پایین رفتن از سطح سیمای اراضی به سمت سطوح ژئومورفیک، شاخص تفرق شانن افزایش می یابد (۱۶). اسفندیارپور بروجنی و صفری (۲۰۱۴) با بررسی تفرق کارکردی نشان دادند که برای محصولات گندم و سیب زمینی مقدار شاخص های تفرق شانن و سیمپسون از سطح کلاس به زیرکلاس افزایش یافته است (۲). همچنین سالدانا و ایباز (۲۰۰۴) با کاربرد شاخص های تفرق شانن دادند که با افزایش سطح طبقه بندی خاک، تفرق خاک بیشتر می شود (۱۰).

مقایسه نتایج جدول های ۱ و ۳ نشان می دهد که برای تمامی محصولات مورد مطالعه، صرف نظر از روش نقشه برداری، مقدار شاخص تفرق از سطح کلاس به زیرکلاس افزایش می یابد. همچنین، نتایج مقایسه آماری شاخص تفرق بیانگر آن است که این اختلاف، برای محصولات یونجه، ذرت و سیب زمینی در هر دو روش نقشه برداری و برای محصول گندم در روش رقومی، در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی دار بوده است (جدول ۵). با توجه به این که در سطح زیرکلاس، جزئیات بیشتری از اراضی مدنظر قرار می گیرند؛ انتظار بر این است که تفاوت های اراضی بیش تر آشکار شوند و به تبع آن مقادیر تفرق نیز افزایش یابند. این نتایج با نتایج سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش شاخص تفرق با تفصیلی تر شدن سطح مطالعات مطابقت دارد. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که شاخص تفرق شانن

جدول ۵- مقایسه آماری شاخص تفرق کارکردی برای محصولات مختلف با استفاده از روش‌های رقومی و سنتی در سطوح کلاس و زیرکلاس.

Table 5. Mean comparison of functional diversity index for different crops using conventional and digital methods at class and subclass levels.

t آماره	درجه آزادی df	واریانس تفرق شانن		تفرق شانن		روش نقشه برداری Mapping method	نوع محصول Crops
		Shannon's diversity variance		Shannon's diversity			
		زیرکلاس	کلاس	زیرکلاس	کلاس		
1.3	86	0.01	0.005	1.06	0.9	سنتی Conventional mapping	گندم wheat
41.4***	13513	0.00004	0.00002	1.25	0.96	رقومی Digital soil mapping	
4.2***	29	0.029	0.003	1.48	0.73	سنتی Conventional mapping	ذرت maize
80***	9991	0.0001	0.000004	1.47	0.67	رقومی Digital soil mapping	
8***	77	0.01	0.005	1.56	0.58	سنتی Conventional mapping	یونجه alfalfa
97.7***	15402	0.00008	0.00001	1.46	0.58	رقومی Digital soil mapping	
7***	67.4	0.013	0.003	1.7	0.81	سنتی Conventional mapping	سیب زمینی potato
82***	29077	0.00008	0.000004	1.45	0.71	رقومی Digital soil mapping	

*** در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی دار می‌باشد.

*** Significant at 0.001 probability level.

مدیریت صحیح اراضی لازم است. از این رو، اگرچه روش‌های رقومی تا حد زیادی می‌توانند در فراهم آوردن اطلاعات با تفکیک مکانی بالا راهگشا باشند؛ اما هنوز برای ورود به فازهای عملیاتی و کاربردی، نیازمند همراه شدن معیارهای تناسب اراضی با تغییرات پیوسته خاک هستند. در این راستا، تصحیح جدول‌های نیازهای رویشی گیاهان به طوری که بتواند تغییرات تدریجی خاک در فواصل اندک را بهتر نشان دهد؛ ضروری است.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی برای محصولات مختلف و در هر دو سطح کلاس و زیرکلاس بیش از آن‌که متأثر از نوع روش نقشه برداری و نوع محصول باشد به توانایی روش فائو برای بیان تغییرات خاک و به تبع آن تعیین کلاس‌های تناسب اراضی وابسته است. بنابراین، به نظر می‌رسد که علاوه بر آگاهی از تغییرات مکانی خاک‌ها، در نظر گرفتن روش‌ها و مبنایی که بتواند تغییرات ویژگی‌های خاک در فواصل نزدیک را در یک سیستم مدیریتی اعمال نماید؛ برای

منابع

1. 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). *Mashhad, J. Water Soil*. 23: 4. 100-114. (In Persian)
2. Esfandiarpour Borujeni, I., and Safari, Y. 2014. Comparison of functional pedodiversity in two detailed soil map units (A case study: Faradonbeh plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province). *Esfahan, J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water Soil Sci*. 18: 67. 267-277. (In Persian)
3. Givi, J. 1997. Qualitative evaluation of land suitability for field and fruit. *Soil and Water Research Institute of Iran, Tehran, Iran*. (In Persian)
4. Grunwald, S. 2006. *Environmental soil-landscape modeling: Geographic information technologies and pedometrics*. CRC Press, New York, 300p.
5. Kooch, Y., Hosseini, M., Scharenbroch, B.C., Hojjati, M., and Mohammadi, J. 2015. Pedodiversity in the Caspian forests of Iran. *Geoderma Regional*. 5: 4-14.
6. Kuhn, M. 2014. A short introduction to the caret package. <http://cran.r-project.org/web/packages/caret/vignettes/caret>.
7. McBratney, A.B., and Minasny, B. 2007. On measuring pedodiversity. *Geoderma*. 141: 1. 149-154.
8. Mohammadi, M. 1986. Semi-detailed soil studies report Chaharmahal-Va-Bakhtiari province (Shahrekor and Borujen area). *Iranian Soil and Water Research Institute*. (In Persian)
9. Rossiter, D.G. 2000. *Methodology for Soil Resource Inventories*. Soil Science Division, International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC). 2nd Revised Version.
10. Saldana, A., and Ibanez, J.J. 2004. Pedodiversity analysis at large scales: An example of three fluvial terrain of the Henares River (Central Spain). *Geoderma*. 62: 9. 123-138.
11. Salehi, M.H., Khademi, H., Givi, J., and Karimian Eghbal, M. 2004. Variability of qualitative land suitability evaluation (parametric method) in a detailed map unit in Farrokhsahr area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari province. *Ahvaz, J. Sci. Agric*. 27: 2. 115-126. (In Persian)
12. 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.
13. Soil Survey Staff. 1996. *Soil survey laboratory methods manual*. Report No. 42, USDA, NRCS, NCSS, USA.
14. Sys, C., Van Ranst, E., and Debaveye, J. 1991. *Land evaluation, Part 2: methods in land evaluation*. General Administration for Development Cooperation. Brussels, Belgium, 247p.
15. Taylor, L.R. 1978. A variety of diversities. P 1-18, In: I.A. Mound and N. Warloff (Eds.), *Diversity of Insect Faunas*. Ninth Symposium of the Royal Entomological Society. Blackwell, Oxford.
16. Toomanian, N., Jalalian, A., Khademi, H., Karimian Eghbal, M., and Papritz, A. 2006. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology*. 81: 3. 376-393.
17. 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. 1-19.
18. Ziadat, F.M. 2007. Land suitability classification using different sources of information: soil maps and predicted soil attributes in Jordan. *Geoderma*. 140: 1. 73-80.
19. Zinck, J.A. 1989. *Physiography and soils*. Lecture Notes for Soil Students. Soil Science Division. Soil Survey Courses Subject Matter. The Netherlands.



Comparison the viewpoint of conventional and digital soil mapping using functional diversity approach (A case study: Shahrekord plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari province)

*Z. Mosleh¹, M.H. Salehi², A. Jafari³, A.M. Mehnatkesh⁴,
I. Esfandiarpour Borujeni⁵ and A. Amini Faskhoodi⁶

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, ²Professor, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, ³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

⁴Research Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Shahrekord,

⁵Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

⁶Associate Prof., Dept. of Geography and Rural Planning, University of Isfahan

Received: 11/16/2015; Accepted: 03/07/2016

Abstract

Background and Objectives: The accurate information about the spatial distribution of land suitability assessment are important elements for sustainable land management and diversity is a way for measuring soil variation. Beside, soil surveys are important sources of data that can be used to improve land suitability classifications. Unfortunately, comparing the variation of land suitability using diversity indices and different soil mapping approaches is rarely considered. Therefore, the main objective of this study was to investigate the viewpoint of different soil mapping approaches (conventional and digital soil mapping) for description the variation of suitability class and subclass for main irrigated crops (wheat, maize, alfalfa and potato) in Shahrekord plain of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province.

Materials and Methods: The area under investigation has a size of approximately 10000 ha. 120 pedons with approximate distance of 750 m were excavated and described. Soil samples were taken and their physicochemical properties were determined. Soil map was prepared at family level. For the representative pedons, the average of soil properties was determined by considering the depth weighted coefficient up to 100 and 150 centimeters for annual and perennial crops, respectively. Based on FAO framework, suitability class and subclass for main irrigated crops were determined using parametric method. Also, Random Forest model was used to predict suitability class and subclass for all of the crops. Then, for each crop, the map units that have the highest frequency in land suitability conventional map were selected as indicator to calculate functional diversity indices. The selected map units were overlaid on digital maps and diversity indices were calculated. Then, the mean of Shannon's diversity index for two approaches was statistically evaluated.

Results: For all of the studied crops, significant difference was not observed for diversity between mean values of conventional and digital maps at class level. However, in the subclass level, a significant difference (95% confidence level) was obtained only for potato. For all of the studied crops, regardless the mapping approaches, diversity indices showed higher values in the subclass level than class level of suitability. This difference was significant at 0.001 probability level for alfalfa, maize and potato using two mapping approaches and for wheat in digital maps.

Conclusion: No significant difference was observed between two mapping approaches for all of the studied crops confirm that description the variation of suitability class and subclass less influenced by the land use type and mapping approaches. The results recommended that revision of the FAO criteria to include the spatial distribution of soil properties for sustainable land management.

Keywords: Land suitability evaluation, Shannon index, Richness index, Random forest model

* Corresponding Author; Email: mosleh.zohreh@yahoo.com