

## مقایسه تفرق کارکردی خاک در دو واحد نقشه خاک تفصیلی (مطالعه موردی: دشت فرادنبه، استان چهارمحال و بختیاری)

عیسی اسفندیارپور بروجنی<sup>۱\*</sup> و یاسر صفری<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۲۶)

### چکیده

مقایسه تغییرات تناسب اراضی در واحدهای نقشه خاک از نقطه نظر شاخص های تفرق خاک می تواند ارزیابی خوبی از دقت نقشه های خاک باشد. پژوهش حاضر می کوشد تا معنی دار بودن یا نبودن تفرق کارکردی خاک ها را با به کارگیری دو شاخص تفرق شانن و سیمپسون در دو واحد نقشه تفصیلی خاک برای کشت آبی محصولات گندم و سیب زمینی در سطوح کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی دشت فرادنبه بررسی کند. پس از حفر ۳۵ مته در واحد نقشه D و ۴۷ مته در واحد نقشه E و نمونه برداری از عمق های صفر تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۵ و ۷۵ تا ۱۰۰ سانتی متری آنها، کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی منطقه برای هر محصول به روش محدودیت ساده به دست آمد. هرچند مقدار عددی هر دو شاخص تفرق از سطح کلاس به زیرکلاس افزایش یافت، لیکن تنها در سطح زیرکلاس، تفاوت معنی دار بین میانگین تفرق کارکردی دو واحد در سطح اعتماد ۹۵ درصد وجود داشت. معنی دار شدن تفاوت شاخص های تفرق در سطح زیرکلاس، بدون تأثیرپذیری از نوع کاربری اراضی و نوع شاخص تفرق محاسباتی رخ داد. بنابراین، استفاده از شاخص های تفرق به عنوان یک راهکار تکمیلی برای بررسی تغییرات درون واحدی نقشه های خاک، فراهم آورنده اطلاعات مفیدی است.

واژه های کلیدی: ارزیابی تناسب اراضی، تفرق کارکردی خاک، سیب زمینی، گندم، واحدهای نقشه خاک

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: iesfandiarpour@yahoo.com

## مقدمه

خاک نتیجه برهم کنش پیچیده فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که با شدت‌های متفاوت و در مقیاس‌های مختلف بر یکدیگر اثر می‌گذارند (۲۰). آثار ترکیبی این فرآیندها تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های مختلف خاک را رقم می‌زنند. اطلاع از میزان و شدت این تغییرات و توانایی کنترل آنها، راه‌گشای بشر در انجام مدیریت صحیح و پیشرفته اراضی در راستای بهره‌برداری اصولی از خاک به‌عنوان یکی از منابع مهم انرژی می‌باشد (۱۵ و ۲۰). در همین راستا، نقشه‌برداری خاک (Soil mapping) با هدف اولیه تقسیم‌بندی خاک (به‌عنوان یک کلیت پیوسته) به کلاس‌های طبیعی یا مصنوعی (که در مقایسه با کلیت مزبور، یک‌نواختی بیشتری دارند)، توسعه یافته است (۱۳).

نقشه‌های خاک، منبع معمول و اصلی اطلاعات برای اغلب تصمیم‌گیری‌های بعدی راجع به استفاده از اراضی (مانند تعیین تناسب اراضی (Land suitability) برای کاربری‌های خاص) می‌باشند (۴). با این وجود، تغییرات بعضاً شدید کوتاه‌دامنه ویژگی‌های خاک و خلوص کمتر از ۵۰ درصدی واحدهای نقشه خاک در مقیاس‌های مطالعاتی معمول (۶)، موجب افزایش نگرانی‌های متخصصین در مورد صحت مرزبندی‌های انجام‌گرفته در تفکیک واحدهای نقشه خاک شده است. دنت و یانگ (۵) بیان می‌کنند تفاوت بین واحدهای نقشه خاک که معمولاً به‌عنوان واحدهای اراضی برای بررسی تناسب اراضی مورد استفاده می‌باشند، می‌بایست از نظر آماری معنی‌دار باشد. در نتیجه، واحدهای اراضی، مناطقی هستند که تفاوت ویژگی‌های خاک در آنها با مناطق اطراف به حدی شدید است که باعث تفاوت تناسب اراضی آن واحد برای کاربری‌های مختلف اراضی در مقایسه با دیگر واحدها می‌گردد (۱۶). بنابر این، نکته حایز اهمیت در تفکیک واحدهای اراضی، یکنواختی نسبی ویژگی‌های خاک در درون هر واحد و تغییرات قابل ملاحظه آنها در بین واحدهای مختلف است. از این رو، با بررسی روند تغییرپذیری مکانی کلاس تناسب اراضی در درون

و بین واحدهای اراضی (واحدهای نقشه خاک)، می‌توان ضمن تعیین معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت این واحدها، بینش صحیحی از چگونگی برهم‌کنش ویژگی‌های مختلف خاک و تغییرات این برهم‌کنش‌ها در بُعد مکان (و حتی بُعد زمان) به‌دست آورد. از آن‌جا که مبنای تفکیک واحدهای نقشه خاک، بررسی میزان تفاوت‌های موجود در خاک‌های مختلف است (۲۱)، مقایسه تغییرات تناسب اراضی در واحدهای مختلف از نقطه‌نظر شاخص‌های تفرق خاک (Pedodiversity indices) می‌تواند مفید واقع گردد. این شاخص‌ها در ابتدا برای انجام مطالعات تنوع زیستی (Biodiversity)، به‌عنوان مبحث اصلی پژوهش‌های بوم‌شناسی (Ecology) توسعه یافتند؛ اما در دهه‌های اخیر برای انجام مطالعات تفرق و شباهت خاک‌ها توسط پژوهشگران مختلف به‌کار گرفته شده‌اند (۱، ۹، ۱۲، ۱۴، ۱۸، ۱۹ و ۲۶).

تفرق خاک، به‌عنوان یک ویژگی از یک جامعه طبیعی سازمان یافته محسوب می‌شود که در طی فرایندهای تکامل بوم‌شناختی به وجود می‌آید (۲۶). مک براتنی و میناسنی (۱۴) تفرق خاک را معیاری از تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و یا تابعی از فاکتورهای خاک‌سازی می‌دانند. ایبازن و همکاران (۱۲) برای اولین بار استفاده از سه شاخص تنوع بوم‌شناسی، یعنی شاخص‌های غنی‌شدگی (Richness)، همواری (Evenness) و تفرق (Diversity) را برای اندازه‌گیری تفرق خاک پیشنهاد نمودند. شاخص غنی‌شدگی، نمایانگر تعداد یا تنوع گونه‌های موجود در یک جامعه (مانند تعداد کلاس‌های متفاوت تناسب اراضی در یک واحد اراضی) است و شاخص همواری، فراوانی نسبی هر یک از گونه‌های موجود (مانند نسبت مساحت اشغال‌شده توسط یک کلاس تناسب اراضی خاص به کل مساحت واحد اراضی) را بیان می‌کند. شاخص تفرق، ترکیبی از دو شاخص مذکور است و شاخص‌های غنی‌شدگی و همواری بزرگ‌تر، دلیلی بر وجود تفرق بیشتر می‌باشند (۹ و ۱۲). تفرق خاک را می‌توان از دیدگاه‌های مختلف، شامل تفرق رده‌بندی خاک (Taxonomic pedodiversity)، تفرق ژنتیکی خاک

شرق بروجن، برای این مطالعه انتخاب شد. منطقه مطالعاتی، یکی از قطب‌های کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری محسوب می‌شود که سیب‌زمینی و گندم از محصولات عمده آن به‌شمار می‌آیند. این منطقه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی  $11^{\circ} 25'$  تا  $51^{\circ} 58' 13''$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $31^{\circ} 56' 30''$  تا  $31^{\circ} 57' 43''$  شمالی و در میانگین بلندی ۲۲۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). میانگین ۲۴ ساله (۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰) بارش و دمای هوای سالانه این منطقه، به‌ترتیب،  $250.7$  میلی‌متر و  $10.9$  درجه سلسیوس می‌باشند. رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک منطقه مطالعاتی با استفاده از نرم‌افزار (NSM 41)، به‌ترتیب، مزیک (Mesic) و اریدیک در مرز زیریک (Aridic border to xeric) محاسبه شده‌اند.

### مطالعات ارزیابی تناسب اراضی

پس از تهیه نقشه خاک تفصیلی (۲) منطقه مطالعاتی (شکل ۱)، دو واحد نقشه مختلف (واحدهای D و E) برای دستیابی به اهداف این پژوهش مد نظر قرار گرفتند و بر اساس الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم، اقدام به حفر مته‌هایی با فواصل ۲۵۰ متر در هر کدام از این واحدها شد. در مجموع، تعداد ۳۵ مته در واحد نقشه D و ۴۷ مته در واحد نقشه E حفر شدند. سپس، از عمق‌های صفر تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۵ و ۷۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متری تمامی مته‌ها، نمونه‌برداری خاک انجام گرفت.

به‌منظور ارزیابی میزان و شدت محدودیت‌های خاکی و اثرات آنها بر تناسب اراضی منطقه برای کاربری‌های مورد بررسی، ابتدا آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لازم بر روی نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از اعماق مختلف خاک، با استفاده از روش‌های استاندارد (۲۵) صورت گرفت. سپس، با انجام میانگین‌گیری‌های مربوطه با استفاده از ضرایب وزنی و تطبیق مقادیر متوسط ویژگی‌های خاک در هر نقطه مشاهداتی با معیارهای موجود در جدول نیازهای خاکی محصولات مورد مطالعه (۳)، کلاس و زیرکلاس تناسب خاک هر یک از نقاط

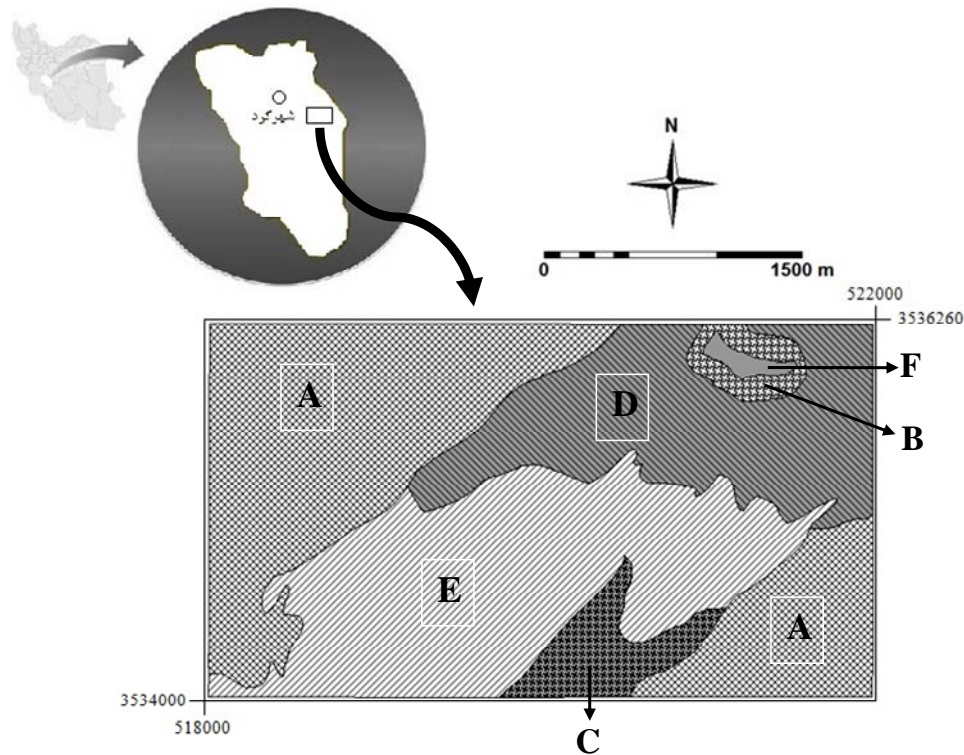
(Genetic pedodiversity)، تفرق ویژگی‌های خاک (Diversity of soil properties) و تفرق کارکردی خاک (Functional pedodiversity) مورد تجزیه و تحلیل قرار داد (۱۹ و ۲۶). سالدانا و ایبانز (۱۹) با مطالعه یک ردیف زمانی (Chronosequence) خاک اظهار نمودند که از سمت تراس پایینی (جوان‌تر) به سمت تراس بالایی (قدیمی‌تر)، تفرق خاک افزایش می‌یابد. تومانیان و همکاران (۲۶) نیز نتیجه مشابهی را برای تراس‌های رودخانه زاینده‌رود به‌دست آوردند و با بررسی تفرق رده‌بندی و ژنتیکی خاک‌های دره زاینده‌رود بیان داشتند که با پایین رفتن از سطح زمین‌نما (Landscape) به سمت سطوح ژئومرفیک (Geomorphic surfaces)، میزان تفرق افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۱) نیز افزایش تفرق خاک در خلال سلسله مراتب سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی (Soil Taxonomy) از سطح رده به سمت فامیل خاک را در بر داشت. هم‌چنین، پاپا و همکاران (۱۸) در بررسی توالی زمانی تفرق خاک‌های منطقه مازارون در کشور ایتالیا، اظهار نمودند که به مرور زمان و در اثر فعالیت‌های انسانی، سیمای اراضی یکنواخت‌تر گردیده و میزان تفرق خاک کاهش یافته است.

هرچند پژوهش‌های متعددی در خصوص انواع تفرق خاک انجام شده‌اند، لیکن تا کنون واحدهای نقشه خاک از نظر میزان تفرق ویژگی‌های ثانویه‌ای هم‌چون کلاس تناسب اراضی، مورد آزمون آماری قرار نگرفته‌اند. پژوهش حاضر می‌کوشد تا با مقایسه کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی موجود در دو واحد مختلف از یک نقشه خاک تفصیلی (Detailed soil map)، معنی‌دار بودن یا نبودن تفرق کارکردی خاک‌ها را با به‌کارگیری دو شاخص مختلف در این دو واحد نقشه برای کشت آبی محصولات گندم و سیب‌زمینی در دشت فرادنبه بررسی کند.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مطالعاتی

حدود ۹۰۰ هکتار از اراضی دشت فرادنبه، واقع در پنج کیلومتری



نام واحد نقشه	کد	علامت
Fine, carbonatic, mesic Xeric Haplocalcids	A	
Fine, carbonatic, mesic Xeric Haplocambids	B	
Fine, mixed, active, mesic Xeric Haplocalcids; slightly eroded	C	
Fine-loamy, carbonatic, mesic Xeric Haplocalcids-Fine, mixed, active, mesic Xeric Calciargids complex, 0-2% slopes	D	
Clayey-skeletal, carbonatic, mesic Calcic Petrocalcids-Fine, carbonatic, mesic Xeric Haplocalcids complex, 2-5% slopes	E	
Rock outcrop	F	

شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی به همراه نقشه خاک آن (سامانه مختصاتی موجود روی نقشه، یو.تی.ام می‌باشد)

این محصولات، کلاس کلی تناسب اقلیم بر اساس روش محدودیت ساده (۳) حاصل شد. در نهایت، با لحاظ کردن محدودیت‌های خاکی و اقلیمی، کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی منطقه برای هر محصول، به روش محدودیت ساده به دست آمد.

#### مطالعات تفرق خاک‌ها

در این پژوهش، هر کدام از واحدهای نقشه خاک گفته شده،

برای هر دو کاربری مورد بررسی، تعیین شدند. به علاوه، در فرآیند ارزیابی میزان تناسب اقلیم منطقه برای کشت آبی گندم و سیب‌زمینی، با فرض برطرف شدن محدودیت‌های رطوبتی خاک در اثر آبیاری، سایر خصیصه‌های اقلیمی مد نظر قرار گرفت. بدین منظور، پس از استخراج مقادیر متوسط هر یک از ویژگی‌های اقلیمی مورد نیاز طی دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰، از اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بروجن، و انطباق آنها با حدود بهینه این ویژگی‌ها در جدول نیازهای اقلیمی

شاخص، در واقع، احتمال تعلق داشتن دو موجودیت (فرد) مستقل در یک جامعه به دو گونه متفاوت را محاسبه و بررسی می‌کند (۸). پراکنش یکنواخت تر افراد (موجودیت‌های) جامعه در میان گونه‌های موجود، احتمال تعلق داشتن دو موجودیت انتخابی به گونه‌های متفاوت را افزایش خواهد داد. این شاخص در قالب معادله زیر بیان می‌گردد (۲۴):

$$D_s = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^n [n_i(n_i-1)] \quad [4]$$

مقدار عددی این شاخص از صفر تا یک متغیر است؛ به نحوی که عدد یک بیانگر حالتی است که تعداد اجزای متعلق به همه گونه‌های موجود با هم برابر هستند.

مقایسه تفرق خاک‌ها در واحدهای مختلف نقشه خاک، مستلزم استفاده از یک راهکار قوی است که بتواند تفاوت آنها را در یک حدود اطمینان مشخص بررسی نماید. از آنجا که مقادیر شاخص‌های تفرق و به تبع آن، میزان تفاوت موجود بین شاخص‌های تفرق مربوط به جوامع مختلف، تابع تغییرات داده‌های اولیه است، بررسی واریانس داده‌ها می‌تواند در این راستا راه‌گشا باشد؛ چرا که بیشتر بودن واریانس داده‌ها حاکی از بالا بودن مقادیر شاخص‌های تفرق و در نتیجه افزایش احتمال معنی‌دار بودن تفاوت آنها در جوامع مختلف می‌باشد. معادله‌های (۵) و (۶)، به ترتیب، طریقه محاسبه واریانس شاخص‌های تفرق شانن ( $Var H'_i$ ) و سیمپسون ( $Var D_{si}$ ) را نشان می‌دهند (۱۰):

$$Var H'_i = \frac{\sum_{i=1}^n p_i (\ln p_i)^2 - (\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i)^2}{N} + \frac{(S-1)}{2N^2} \quad [5]$$

$$Var D_{si} = \frac{4[p_i^2 - (p_i')^2]}{N} \quad [6]$$

حال می‌توان برای انجام آزمون آماری صحت جداسازی واحدهای نقشه خاک مطالعاتی بر مبنای تفاوت‌های موجود در شاخص‌های تفرق اندازه‌گیری شده، از توزیع  $t$  به شکل عمومی زیر استفاده نمود:

$$t = \frac{|\mu_{D_1} - \mu_{D_2}|}{(\sigma_{D_1}^2 + \sigma_{D_2}^2)^{1/2}} \quad [7]$$

به‌منزله یک جامعه و مته‌های حفرشده در هر واحد، افراد آن جامعه تلقی می‌شوند. از این رو، از تعداد متفاوت کلاس یا زیرکلاس تناسب کیفی اراضی موجود در میان مته‌های حفرشده در هر واحد نقشه و چگونگی توزیع آنها در میان مته‌ها، به ترتیب برای محاسبه شاخص‌های غنی‌شدگی ( $S$ ) و همواری ( $E$ ) استفاده گردید. هم‌چنین، به‌منظور تلفیق مفاهیم غنی‌شدگی و همواری، شاخص شانن ( $H'$ ) (Shannon index) که از پر کاربردترین شاخص‌ها در مطالعات اکولوژیکی محسوب می‌گردد (۱۹)، مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص ( $H'$ ) که به شاخص انتروپی ( $Entropy\ index$ ) نیز مشهور است، از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد (۲۳):

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

که  $p_i$  نشانگر نسبت اجزای موجود در واحد  $i$ ام است. در حقیقت، مقدار واقعی  $p_i$  نامعلوم می‌باشد و در نتیجه، به جای آن از نسبت " $n_i/N$ " استفاده می‌شود که  $n_i$  بیانگر تعداد اجزای متعلق به  $i$ امین واحد می‌باشد و  $N$  عبارت از تعداد کل اجزای جمع‌آوری شده است.

حداکثر انتروپی ممکن در شرایطی روی می‌دهد که تمامی موجودیت‌های مورد مطالعه (گونه‌ها)، دارای احتمال وقوع برابر و یکسان باشند (۱۲ و ۲۲). در چنین شرایطی، معادله زیر برقرار خواهد بود:

$$H' = H'_{\max} = \ln S \quad [2]$$

در این حالت، نسبت تفرق اندازه‌گیری شده ( $H'$ ) به حداکثر تفرق ممکن ( $H'_{\max}$ )، در قالب معادله زیر، بیانگر مقدار عددی شاخص همواری می‌باشد (۱۲ و ۱۹):

$$E = H' / H'_{\max} = H' / \ln S \quad [3]$$

از آنجا که امروزه تعداد قابل توجهی از شاخص‌های تفرق در مطالعات تنوع زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ به‌منظور بررسی اثر نوع شاخص تفرق بر نتایج حاصل از این پژوهش، علاوه بر شاخص شانن، یکی دیگر از پر کاربردترین شاخص‌های تفرق، تحت عنوان شاخص تفرق سیمپسون ( $Simpson\ index; D_s$ ) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این

مبتنی بر نقشه برداری های معمول خاک است. در انطباق با این یافته‌ها، نتایج پژوهش زیادت (۲۸) دلالت بر ناکارآمدی نقشه‌های سنتی خاک در انعکاس صحیح و دقیق ماهیت پویا و تغییرپذیر خاک دارند.

مقدار شاخص غنی‌شدگی برای هر دو محصول مد نظر و در هر دو واحد نقشه مطالعاتی، در سطح زیرکلاس، بالاتر از سطح کلاس است (جدول ۱). با توجه به آن‌که در سطح کلاس، تنها شدت و بزرگی محدودیت‌های موجود در هر مکان لحاظ می‌شود اما در سطح زیرکلاس، علاوه بر این فاکتورها، نوع محدودیت اراضی مد نظر قرار می‌گیرد، نتیجه مزبور منطقی و قابل انتظار به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر، از آن‌جا که در تعیین زیرکلاس تناسب اراضی، خاک به صورت تفصیلی‌تر مورد بررسی قرار می‌گیرد، تفاوت خاک‌ها جلوه و نمود بیشتری می‌یابد و سبب پدید آمدن گونه‌های متفاوت بیشتری می‌گردد. در همین ارتباط، یافته‌های پیشین، حاکی از افزایش میزان شاخص غنی‌شدگی در پاسخ به تفصیلی‌تر شدن سطح مطالعات مربوط به خاک‌ها می‌باشند (۱ و ۲۶).

به طریق مشابه، بررسی تفصیلی‌تر ویژگی‌های خاک در سطح زیرکلاس تناسب اراضی، سبب افزایش مقادیر شاخص تفرق شانن در مقایسه با مقادیر این شاخص در سطح کلاس شده است. به دیگر سخن، مقادیر شاخص مزبور در هر دو واحد نقشه و برای هر دو کاربری مورد نظر، در سطح کلاس، کوچک‌تر از سطح زیرکلاس هستند (جدول ۱). با توجه به وجود چنین روند افزایشی برای مقادیر شاخص تفرق سیمپسون (جدول ۱)، می‌توان اظهار داشت که نوع شاخص تفرق، اثری بر نتایج حاصل نداشته است. به طور کلی، تغییرات تفرق تناسب اراضی منطقه مورد مطالعه در سطوح مختلف، بیش از آن‌که تابع نوع شاخص به کار رفته باشند، به نوع و شدت محدودیت‌های اراضی در نقاط مختلف وابسته هستند که این عامل، خود تابعی از تغییرپذیری مکانی (و یا زمانی) ویژگی‌های خاک است. تغییرات زمانی و مکانی خاک نیز تحت تأثیر خصوصیات ذاتی (مانند فاکتورهای خاک‌سازی) و غیرذاتی (مانند عملیات

که منظور از  $\mu_{D_1}$  و  $\mu_{D_2}$ ، به ترتیب، میانگین تفرق خاک محاسبه شده برای جوامع اول و دوم (در این‌جا، واحدهای نقشه E و D) می‌باشند.  $\sigma_{D_1}^2$  و  $\sigma_{D_2}^2$  نیز به ترتیب، بیانگر واریانس تفرق خاک محاسبه شده برای جوامع اول و دوم (در این‌جا، واحدهای نقشه E و D) می‌باشند.

معادله‌های ۸ و ۹، نحوه محاسبه درجه آزادی لازم برای قرائت مقدار  $t$  از جدول مربوطه را به ترتیب برای شاخص‌های تفرق شانن و سیمپسون نشان می‌دهند (۱۶):

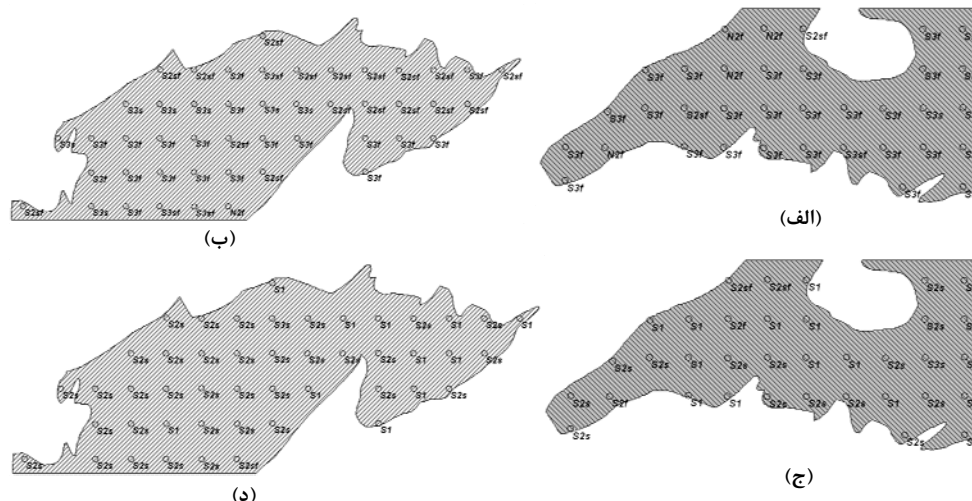
$$d.f_{H'} = \frac{(Var H'_1 + Var H'_2)^2}{\frac{(Var H'_1)^2}{N_1} + \frac{(Var H'_2)^2}{N_2}} \quad [8]$$

$$d.f_{D_i} = n_1 + n_2 - 2 \quad [9]$$

چنانچه مقدار آماره  $t_i$  محاسباتی (معادله ۷)، بزرگ‌تر از  $t_i$  جدول باشد؛ فرض صفر مبنی بر معنی‌دار نبودن تفاوت تفرق تناسب کیفی اراضی در دو واحد نقشه مطالعاتی رد می‌شود. به بیان دیگر، در حالت برقراری فرض صفر، میزان تفاوت تناسب اراضی دو واحد نقشه برای هر کاربری خاص از منظر شاخص‌های تفرق خاک، معنی‌دار نمی‌باشد و بنابراین می‌توان با نادرست قلمداد کردن مرزبندی میان واحدها، آن دو را به عنوان یک واحد در نظر گرفت.

## نتایج و بحث

شکل ۲ کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی هر کدام از متدهای حفرشده برای سیب‌زمینی و گندم را در واحدهای نقشه خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد. نگاهی اجمالی به این شکل، بیان‌گر آن است که تفاوت‌های عمومی قابل ملاحظه‌ای بین کلاس تناسب اراضی این دو محصول در هر واحد نقشه وجود دارند. تفاوت‌های موجود در نیازهای اکولوژیکی سیب‌زمینی نسبت به گندم (۳) را می‌توان از دلایل احتمالی این موضوع بیان نمود. از سوی دیگر، تفاوت‌های قابل ملاحظه زیرکلاس تناسب اراضی در رابطه با متدهای مجاور، حاکی از تغییرپذیری ویژگی‌های خاک در فواصل اندک می‌باشد و تلنگری بر خطرات نادیده انگاشتن این تغییرات کوتاه‌دامنه در طراحی کاربری اراضی



شکل ۲. زیرکلاس تناسب هر کدام از مته‌های حفرشده برای سیب‌زمینی در واحدهای D (الف) و E

(ب) و برای گندم در واحدهای D (ج) و E (د)

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تفرق خاک‌ها در سطوح کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی، به ت فکیک واحدهای نقشه و محصولات مورد مطالعه در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

مقایسه‌های آماری تفرق کارکردی خاک‌ها در واحدهای نقشه مطالعاتی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. با توجه به اطلاعات جدول ۲، ملاحظه می‌گردد که بر خلاف مقادیر به ظاهر متفاوت شاخص‌های تفرق شانن و سیمپسون در سطح کلاس، تفاوت آنها از لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. چنین نتیجه‌ای را می‌توان این‌طور تفسیر کرد که اگر در بررسی تناسب اراضی (به‌عنوان یک ویژگی ثانویه خاک)، تنها شدت و بزرگی محدودیت‌های اراضی مد نظر قرار گیرد، واحدهای تناسب اراضی مورد مطالعه (همان واحدهای نقشه خاک)، از منظر شاخص‌های تفرق، تفاوت معنی‌داری ندارند و می‌توان بدون توجه به مرز ترسیم‌شده بین آنها، این دو را یک واحد یکسان قلمداد نمود. از سوی دیگر، تفاوت مقادیر هر دو شاخص تفرق شانن و سیمپسون در سطح زیرکلاس تناسب اراضی و در سطح اطمینان ۹۵ درصد، معنی‌دار شده است (جدول ۲). بنا بر این، اگر در مقایسه تفرق تناسب اراضی واحدهای نقشه، علاوه بر شدت و بزرگی، نوع محدودیت‌های اراضی برای کاربری‌های

مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی) می‌باشند (۷). نتایج پژوهش شارنبروچ و بوخیم (۲۲) نیز حاکی از آن است که تفرق خاک، تحت کنترل عوامل ذاتی است. از سوی دیگر، هرچند مقادیر شاخص همواری در سطوح کلاس و زیرکلاس، اختلاف چندانی ندارند (جدول ۱)؛ لیکن در شرایط تساوی میزان اختلاف موجود میان مقادیر شاخص غنی‌شدگی در سطوح کلاس و زیرکلاس، بیشترین اختلاف مقادیر شاخص تفرق در این دو سطح، مربوط به حالتی است که اختلاف مقادیر شاخص همواری دو سطح مزبور، حداکثر است (کاربری سیب‌زمینی در واحد E). ایبازن و همکاران (۱۲) و جو و همکاران (۹) نیز اظهار داشته‌اند که وجود شاخص‌های همواری بالاتر، منجر به افزایش مقدار شاخص تفرق می‌گردد. همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، بر اساس مقادیر مطلق شاخص‌های شانن و سیمپسون، تفاوت تفرق کارکردی (تناسب اراضی) دو واحد نقشه مورد مطالعه، قابل ملاحظه است؛ لیکن بر اساس این اطلاعات نمی‌توان راجع به معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت‌های موجود قضاوت کرد. بنا بر این، نتایج مربوط به

جدول ۱. تجزیه و تحلیل تفرق خاک‌ها برای واحدهای نقشه مطالعاتی (D و E) در سطوح کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی

D <sub>s</sub>	E	H' <sub>max</sub>	H'	S	n <sub>i</sub>	سطح تناسب	محصول	کد واحد											
۰/۳۰۶	۰/۵۱۶	۱/۰۹۹	۰/۵۶۷	۳	۲	S2	کلاس	D											
					۲۹	S3													
					۴	N2													
					۲	S2cf													
					۲۷	S3f			زیرکلاس	سیب زمینی									
					۱	S3s													
					۱	S3sf													
					۴	N2f													
					۰/۳۹۸	۰/۵۰۶					۱/۶۰۹	۰/۸۱۵	۵	۱۲	S1	کلاس	گندم		
														۲۲	S2				
														۱	S3				
														۱۲	S1			زیرکلاس	سیب زمینی
۱۸	S2s																		
۲	S2f																		
۲	S2sf																		
۱	S3s																		
۰/۶۷۶	۰/۷۰۷	۱/۶۰۹	۱/۱۳۸	۵			۱۷	S2	کلاس	E									
							۲۹	S3											
							۱	N2											
							۱۷	S2sf						زیرکلاس	سیب زمینی				
					۷	S3s													
					۱۹	S3f													
					۳	S3sf													
					۱	N2f													
					۰/۴۹۹	۰/۶۸۱	۱/۰۹۹	۰/۷۴۸			۳	۱۱	S1			کلاس	گندم		
												۳۵	S2						
												۱	S3						
												۱۱	S1					زیرکلاس	سیب زمینی
۳۴	S2s																		
۱	S2sf																		
۱	S3s																		
۰/۴۳۰	۰/۵۳۲	۱/۳۸۶	۰/۷۳۸	۴					۱۱	S1		کلاس	E						
									۳۵	S2									
									۱	S3									
									۱۱	S1				زیرکلاس	سیب زمینی				
									۳۴	S2s									
					۱	S2sf													
					۱	S3s													

n<sub>i</sub>: تعداد اجزای آمین کلاس یا زیرکلاس، S: غنای کلاس یا زیرکلاس، H': شاخص تفرق شانن، H'<sub>max</sub>: تفرق حداکثر، E: همواری، D<sub>s</sub>: شاخص تفرق سیمپسون

معنی دار بین میانگین تفرق خاک‌های دو واحد در سطح اعتماد ۹۵ درصد وجود دارد.

از سوی دیگر، معنی دار شدن تفاوت شاخص‌های تفرق تناسب اراضی واحدهای مطالعاتی در سطح زیرکلاس، بدون تأثیرپذیری از نوع کاربری اراضی و یا نوع شاخص محاسباتی رخ داده است (جدول ۲). این بدان معنی است که اثر سطح مطالعات تناسب اراضی بر تفرق خاک‌های دو واحد نقشه

مختلف نیز لحاظ گردد، تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک نمود بیشتری می‌یابد و صحت تقسیم‌بندی محدوده مورد مطالعه به واحدهای متفاوت تناسب اراضی را مورد تأیید قرار می‌دهد. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۱) نیز با بررسی دو واحد ژئومرفیک مشابه، نشان دادند که شاخص تفرق شانن در خلال سلسله‌مراتب رده‌بندی خاک آمریکایی (از سطح رده به سمت فامیل خاک) افزایش می‌یابد؛ لیکن تنها در سطح فامیل، تفاوت



جدول ۲. مقایسه آماری تفرق خاکها بین واحدهای نقشه مطالعاتی (D و E) در سطوح کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی

آماره ۱	آماره ۲	درجه آزادی	واریانس تفرق				شاخص تفرق				محصول	سطح تناسب	
			سیمپسون		شانن		سیمپسون		شانن				
			واحد E	واحد D	واحد E	واحد D	واحد E	واحد D	واحد E	واحد D			
۱/۸۸۵	۱/۰۸۸	۴	۵۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲۱	۰/۴۹۹	۰/۳۰۶	۰/۷۴۸	۰/۵۶۷	سبب زمینی	کلاس
۱/۱۸۳	۰/۸۴۲	۴	۸۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۳۹۹	۰/۵۰۱	۰/۶۴۱	۰/۷۶۰	گندم	کلاس
۲/۸۳۱*	۲/۳۱۱*	۸	۵۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۴	۰/۶۹۴	۰/۳۹۸	۱/۲۷۵	۰/۸۱۵	سبب زمینی	زیرکلاس
۲/۸۰۷*	۲/۱۶۵*	۷	۷۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	۰/۴۳۰	۰/۶۷۶	۰/۳۳۸	۱/۱۳۸	گندم	زیرکلاس

\* در سطح اطمینان ۹۵ درصد، معنی دار است.

است که توسط هیچ روش دیگری قابل حصول نمی باشد.

### نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، می توان اظهار داشت که با توجه به تغییرات قابل ملاحظه کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی در فواصل اندک، بی توجهی به تغییرات کوتاه دامنه و ویژگی های خاک، صحت برنامه ریزی های مبتنی بر روش های معمول نقشه برداری خاک را زیر سؤال می برد. هم چنین، به دلیل تفاوت های موجود در تعیین کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی، سطح مطالعاتی تناسب اراضی (کلاس یا زیرکلاس)، عامل اصلی کنترل کننده تغییرات تفرق این ویژگی ثانویه خاک در میان واحدهای نقشه است. به علاوه، با توجه به عدم وجود اختلاف معنی دار بین میزان تفرق کارکردی دو واحد نقشه خاک مورد بررسی در سطح کلاس و معنی دار شدن آن در سطح زیرکلاس،

مورد مطالعه، شدیدتر از آنی است که تحت تأثیر عوامل جانبی هم چون نوع کاربری یا طرز محاسبه تفرق قرار گیرد. نتایج پژوهش اُرتگا و همکاران (۱۷) نیز حاکی از آن است که وقتی پای عوامل مهمی مانند زمان و پستی و بلندی در میان باشد، اثر نوع شاخص به کار رفته بر نتایج تفرق خاک، ناچیز خواهد بود. در هر حال، شاخص های تفرق خاک با تکیه بر اندازه گیری فراوانی نسبی گونه های موجود در یک جامعه (واحد نقشه)، قادر به کمی نمودن میزان تغییرات مزبور می باشند و امکان مقایسه بزرگی این تغییرات در بین واحدهای مختلف را مهیا می سازند. در همین راستا ایبانز و دی آلبا (۱۱) معتقدند که برخلاف توانایی و کارآمدی تکنیک هایی هم چون زمین آمار، منطق فازی (Fuzzy logic) و نظریه کیاس (Chaos theory) برای بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی های خاک، استفاده از شاخص های تفرق به عنوان یک راهکار تکمیلی، فراهم آورنده اطلاعات مفیدی

می‌توان گفت که در هنگام بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک از منظر شاخص‌های تفرق، اظهار نظر قطعی راجع به صحت مرزبندی انجام‌گرفته در میان دو واحد اراضی مورد مطالعه، تابع مستقیم سطح مطالعاتی است

### منابع مورد استفاده

۱. اسفندیارپور بروجنی، ع.، ن. تومانیان، م.ح. صالحی و ج. محمدی. ۱۳۸۸. ارزیابی نقشه‌برداری خاک به روش ژئوپدولوژی با استفاده از شاخص‌های تفرق و شباهت (مطالعه موردی: منطقه بروجن، استان چهارمحال و بختیاری). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۳: ۱۰۰-۱۱۴.
۲. صالحی، م.ح. و ح. خادمی. ۱۳۸۷. مبانی نقشه‌برداری خاک. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. گیوی، ج. ۱۳۷۶. ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای نباتات زراعی و باغی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور. نشریه فنی شماره ۱۰۱۵. ۱-۱۰۰.
4. Daigle, J.J., W.H. Hudnall, W.J. Gabriel, E. Mersiovsky and R.D. Nielson. 2005. The National Soil Information System (NASIS): designing soil interpretation classes for military land use predictions. *J. Terramechanics* 42: 305-330.
5. Dent, D. and A. Young. 1981. *Soil Survey and Land Evaluation*. George Allen and Unwin, Boston. 278 pp.
6. Dorhan, P.J., E.J. Ciolkosz and G.W. Petersen. 2003. Soil survey mapping unit accuracy in forested field plots in Northern Pennsylvania. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 67: 208-214.
7. Godwin, R.J. and P.C. H. Miller. 2003. A review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosys. Eng.* 84: 393-407.
8. Gorelick, R. 2006. Combining richness and abundance into a single diversity index using matrix analogues of Shannon's and Simpson's indices. *Ecography* 29: 525-530.
9. Gou, Y., P. Gong and R. Amundson. 2003. Pedodiversity in the United States of America. *Geoderma* 117: 99-115.
10. Hutcheson, K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *J. Theor. Biol.* 29: 151-154.
11. Ibanez, J. J. and S. De Alba. 1999. On the concept of Pedodiversity: A reply. *Geoderma* 93: 339-344.
12. Ibanez, J. J., S. De Alba, F. F. Bermudes and A. Garcia-Alvarez. 1995. Pedodiversity: concepts and measurements. *Catena* 24:215-232.
13. Lin, H., D. Wheeler, J. Bell and L. Wilding. 2005. Assessment of soil spatial variability at multiple scales. *Ecol. Model.* 182: 271-290.
14. McBratney, A. B. and B. Minasny. 2007. On measuring pedodiversity. *Geoderma* 141: 149-154.
15. Miao, Y., D. J. Mulla and P.C. Robert. 2006. Spatial variability of soil properties, corn quality and yield in two Illinois, USA fields: Implications for precision corn management. *Precis. Agric.* 7: 5-20.
16. Niekerk, A.V. 2010. A comparison of land unit delineation techniques for land evaluation in the Western Cape, South Africa. *Land Use Policy* 27: 937-945.
17. Ortega, J. D., E. S. Rebolledo and S. Sedov. 2011. Spatial arrangement of soil mantle in Glacis de Buenavista, Mexico as a product and record of landscape evolution. *Geomorphology* 135: 248-261.
18. Papa, G. L., V. Palermo and C. Dazzi. 2011. Is land-use change a cause of loss of pedodiversity? The case of the Mazzarrone study area, Sicily. *Geomorphology* 135: 332-342.
19. Saldana A. and J. J. Ibanez. 2004. Pedodiversity analysis at large scales: An example of three fluvial terrain of the Henares River (Central Spain). *Geoderma* 62: 123-138.
20. Santra, P., U. K. Chopra and D. Chakraborty. 2008. Spatial variability of soil properties and its application in predicting surface map of hydraulic parameters in an agricultural farm. *Curr. Sci. India* 95: 937-945.
21. Sarma, V.A.K. 2006. *Mapping of the Soil*. Science Publishers, NH, USA, 411 pp.
22. Scharenbroch, B. S. and J.G. Bockheim. 2007. Pedodiversity in an old-growth northern hardwood forest in the Huron Mountains, upper Peninsula, Michigan. *Can. J. For. Res.* 37:1106-1117.
23. Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press., Urbana.
24. Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
25. Soil Survey Staff. 1996. *Soil survey laboratory methods manual*. Report No. 42, USDA, NRCS, NCSS, USA.

26. Toomanian, N., A. Jalalian, H. Khademi, M. K. Eghbal and A. Papritz. 2006. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology* 81: 376–393.
27. Van Wambeke, A., P. Hastings and M. Tolomeo. 1986. Newhall Simulation Model: a BASIC program for the IBM PC. Ithaca, Department of Agronomy, Cornell University. Diskette and Booklet. NY.
28. Ziadat, F. M. 2007. Land suitability classification using different sources of information: soil maps and predicted soil attributes in Jordan. *Geoderma* 140: 73–80.